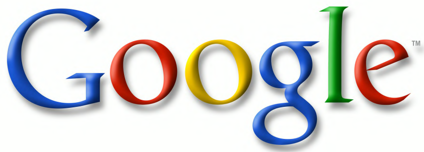

Google



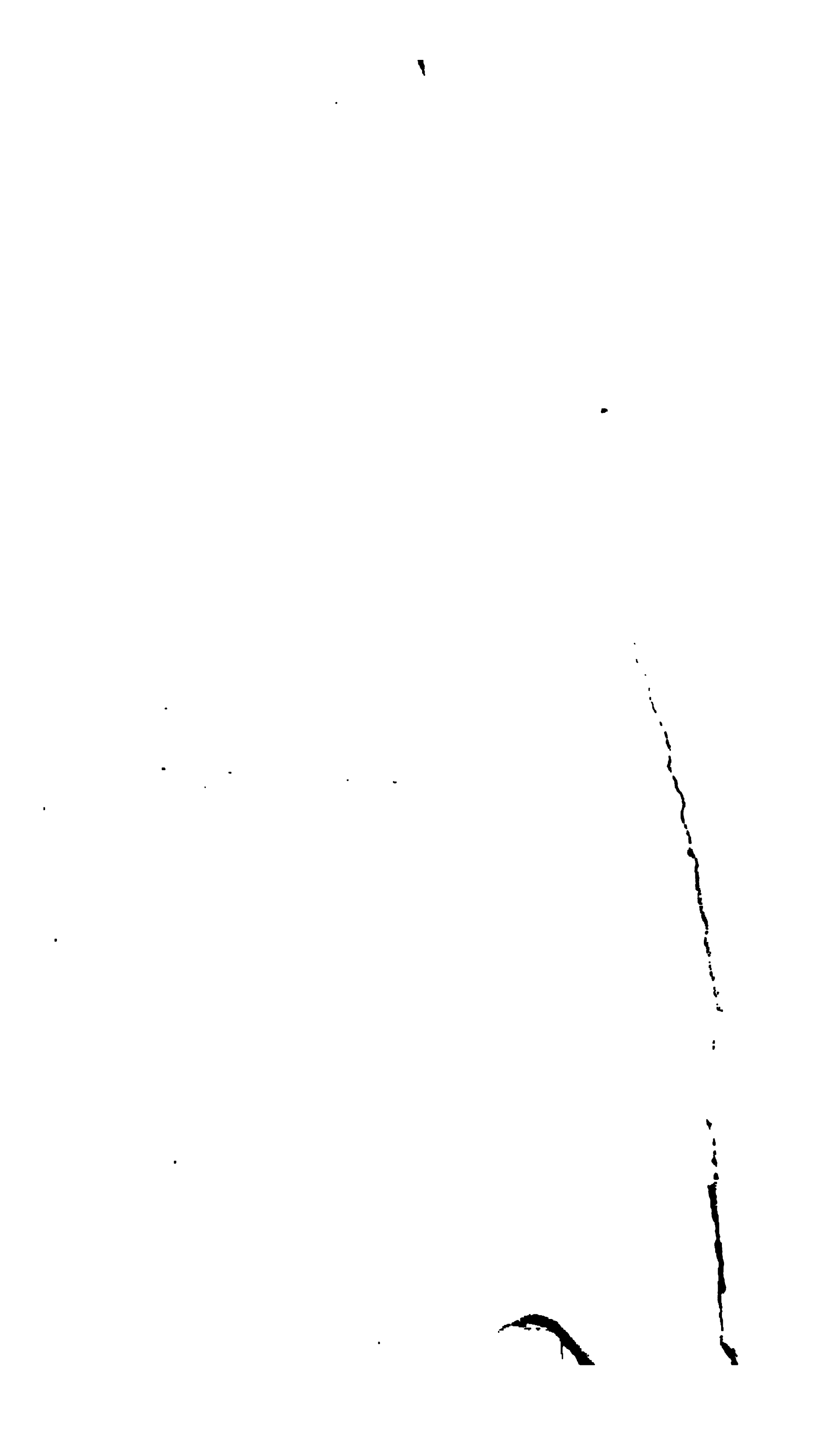




HANDBOEK

DER

PHYSICA EN DER METEOROLOGIE.



HANDBOEK

DER

PHYSICA EN DER METEOROLOGIE,

DOOR

Dr. Joh. Müller,

Hoogleeraar in de Natuur- en Werktuigkunde aan de Hoogeschool te Freiburg im Breisgau.

VERTAALD DOOR

DR. F. RIENDERHOFF,

Officier van Gezondheid, 2e Kl.

Met 529 tusschen den tekst gedrukte Houtsneêplaten.

TE AMSTERDAM, BIJ

LOMAN & REUDLER.

1852.

GEDRUKT BIJ P. W. VAN DE WEIJER.

VOORREDE VAN DE EERSTE UITGAVE.

Reeds kort na het verschijnen der eerste afleveringen mijner bearbeiding van het Leerboek der Natuurkunde van POUILLET, *werd ik van onderscheidene zijden aangezocht tot de uitgave van een* Handboek der Natuurkunde ten gebruike voor Gymnasien en Handwerkscholen, *een arbeid, welken ik des te eer meende te kunnen ondernemen, daar ik van den eenen kant, door het veeljarig geven van onderwijs aan het gymnasium te* Darmstadt *en aan de school te* Giessen, *met de behoeften dier inrigtingen ten opzigte van het onderrigt in de Natuurkunde bekend was, terwijl van den anderen kant mijn grootere werk, en vooral de daarin bevatte platen, mij eenen zoodanigen arbeid gemakkelijk maakten.*

De druk der eerste vellen van dit Handboek is reeds vóór twee jaren begonnen, doch ik was toen, uit hoofde van de al spoedig noodzakelijk geworden tweede oplage van mijn grootere leerboek, genoodzaakt, de bearbeiding van het handboek uit te stellen tot na de voleindiging van het leerboek, hetgeen echter voor het onderhavige werk slechts ten voordeele kon gedijen, omdat de verbeteringen van de tweede uitgave ook voor dit handboek ten nutte konden zijn.

In de hoofdzaak heb ik den gang van het Leerboek gevolgd, en die gedeelten daarvan, welke ik voor het doel van deze handleiding geschikt oordeelde, zijn daaruit woordelijk overgenomen. Want ik ben van meening, dat de hoofd-wetten ook in school-inrigtingen grondig en duidelijk moeten worden voorgedragen, en dat eene bekorting in de voorstelling van deze enkel tot nadeel kan strekken. Daarentegen echter moet men bij dit onderrigt niet in te veel bijzonderheden en ontwikkelingen treden, die enkel een zuiver wetenschappelijk belang bezitten, en die bij het eerste onderrigt slechts de duidelijkheid van het overzigt kunnen benadeelen; en ik heb daarom onder anderen de leer van de polarisatie en de dubbele straalbreking slechts ter loops aangeroerd.

Moge het mij gelukt zijn, door dit werk ook iets te hebben bijgedragen, tot verbetering van het onderrigt in de Natuurkunde in hoogere school-inrigtingen!

Freiburg im Breisgau,
Mei 1846.

Dr. Joh. Müller.

VOORREDE VAN DE TWEEDE UITGAVE.

De opmerkzame lezer van dit Handboek zal bevinden, dat de tweede Uitgave in vergelijking met de eerste niet alleen verrijkt is met nieuwe bouwstoffen, maar dat zij ook bijkans in alle deelen verbeterd mag worden genoemd. Overtuigd, dat juist voor het onderrigt van eerste beginselen niet alleen eene doelmatige keuze der stof, maar vóór alles eene gepaste wijze van voorstelling van het meeste belang is, heb ik er naar gestreefd, om in al de afdeelingen van het werk te verbeteren, te volmaken en te bekorten, zonder evenwel eene wezenlijke verandering te brengen in de bearbeiding van het werk, daar ik hierran in het geheel de noodzakelijkheid niet inzag.

De meeste bijvoegsels en veranderingen betreffen, zooals te begrijpen is, de leer van de electriciteit, daar juist deze tak der natuurkunde thans het meest wordt beoefend. Ten einde de nieuwere ontdekkingen van FARADAIJ *duidelijker te maken, was het noodzakelijk, om bij de leer van het licht ook nog het voornaamste op te nemen omtrent de circulair-polarisatie.*

Freiburg im Breisgau,
November 1849.

Dr. Joh. Müller.

In de meening, dat het handboek der Natuurkunde en Meteorologie ook in ons Vaderland hetzelfde nut zou kunnen aanbrgen, wat de Schrijver daarmede voor Duitschland beoogde, heb ik 1847 de vertaling van dit werk op mij genomen. Omstandighed die van mij niet afhankelijk waren, hebben de uitgave daarvan heden vertraagd, doch hebben mij daardoor tevens in de gelegenh gesteld, om in het laatste gedeelte de tweede Uitgave van het ospronkelijke te volgen. — De afstand, op welken ik altijd van pers ben geweest, moge ter verklaring strekken van enkele gr drukfouten, die echter van dien aard zijn, dat de zin daaron niet lijdt, en welke ik hoop, dat de lezer mij daarom ten go moge houden. — Overigens wensch ik, dat eene gunstige ontvar en een ruim debiet van deze vertaling het bewijs mogen lever dat zij beantwoordt aan het doel, waarmede zij is ondernom en tevens de Uitgevers moge schadeloos stellen voor de groote kos door hen aan dit werk besteed.

Leijden, Mei 1852. DE VERTALER.

INLEIDING.

Bepaling. De grootsche verschijnselen, die de natuur ons dagelijks aanbiedt, strekken der weetgierigheid tot zoo magtige prikkels, dat wij onwillekeurig ons gedrongen voelen, om na te denken over de oorzaken, waardoor deze wonderbare uitwerkselen tot stand komen. Het is de taak der *natuurwetenschappen*, zich met deze vragen bezig te houden, den zamenhang tusschen de onderscheidene verschijnselen der natuur op te sporen, en ze, *voor zoo verre zulks mogelijk is*, tot hunne oorzaken te herleiden. 1

De gezamenlijke natuurwetenschappen behandelen *ligchamen;* doch men neme hier het woord „ligchaam" niet in den zin der wiskundigen, die enkel letten op de verhoudingen der ruimte, en niet vragen naar de stof, welke de ruimte vervult; want juist de eigenschappen der stof in de ruimte zijn het, welke de natuur-onderzoeker beschouwt.

Het innerlijke wezen der ligchamen is voor ons verborgen; wij kennen ze slechts door hunne verschijnselen, d. i. onze onmiddellijke kennis bepaalt zich enkel tot datgene, wat wij met behulp onzer zintuigen omtrent hen waarnemen. Een ligchaam buiten zamenhang met onze zintuigen, is voor ons zoo goed als niet bestaande. Het is mogelijk, ja waarschijnlijk, dat er nog veel in de natuur rondom ons voorvalt, waarvan wij geen vermoeden hebben, omdat ons daartoe eenigermate een zintuig ontbreekt.

De natuurwetenschappen nu hebben ten doel, om den zamenhang op te sporen, tusschen de door bemiddeling onzer zintuigen tot ons bewustzijn gebragte verschijnselen, en ze zoodanig bij elkander te plaatsen, als zij voor elkander tot opheldering strekken, en zich onderling bepalen. Zoodra men in staat is, een verschijnsel tot zijnen zamenhang met andere te herleiden, dan is dit verschijnsel verklaard; en men kent eene natuurwet, zoodra men bekend is met de onveranderlijke wijze van zamenhang der natuurverschijnselen, al is het dan ook dat de *laatste* oorzaken ons onbekend blijven.

Verdeeling. Het groote gebied der natuurwetenschappen laat zich al dadelijk in twee groote afdeelingen splitsen, de *natuurbeschrijving* en de *natuurleer*. De *natuurbeschrijving*, gewoonlijk *natuurlijke geschiedenis* genoemd, leert ons de gesteldheid van afzonderlijke voorwerpen kennen, en rangschikt ze naar hunne 2

overeenkomst in stelsels; de *natuurleer* daarentegen poogt de natuurwetten der ligchamelijke wereld duidelijk te maken.

De NATUURKUNDE, *physica*, is dat gedeelte van de natuurleer, hetwelk zich bezig houdt met de wetten van die verschijnselen, die niet op eene verandering van de bestanddeelen der ligchamen berusten; het laatste beoefent de *scheikunde*.

Het valt ligt te begrijpen, dat het veld dezer beide wetenschappen niet altijd juist afgebakend kan worden, en vele verschijnselen worden daarom zoowel in de eene als in de andere behandeld. Beide wetenschappen zijn ten naauwste met elkander verwant, ja zij vormen eenigermate een geheel, hetwelk enkel en alleen in den uitwendigen vorm gescheiden is, omdat de hoeveelheid van stoffen ter onderzoek te veel is aangegroeid.

3 **Methode.** Het eerste wat ons hier te doen staat, is den weg te bepalen, langs welken men tot de kennis der natuurwetten kan geraken, op welken ook inderdaad al het tot heden bebekende is gevonden. De bron dier kennis, zoowel als de weg die daartoe leidt, is niet en kan niet voor alle wetenschappen dezelfde zijn. De wiskundige kan, van door hem zelven ontworpen begrippen uitgaande, van uit zich zelven zijne geheele wetenschap ontwikkelen, ja, men kan het zich als mogelijk voorstellen, dat een mensch tusschen zijne vier muren, beroofd van alle aanschouwing der natuur, enkel en alleen uit de begrippen van ruimte en aantal de geheele wiskunde construeerde. In dit opzigt is de wiskunde eene zuiver *bespiegelende* wetenschap, wat de natuurwetenschappen in het geheel niet zijn en niet kunnen zijn, daar zij zaken behandelen, welke alleen door zintuigelijke waarneming, en dus langs den weg der ervaring tot ons bewustzijn komen.

Den ouden was een op ervaring gegrond onderzoek der natuur, in den zin dien wij daaraan hechten, volstrekt onbekend; wij vinden bij hun slechts wijsgeerige bespiegelingen over de wereld in het algemeen, over het ontstaan en het oorspronkelijke wezen van alle dingen; en het moet ons geene verwondering baren, zoo de langs dezen weg ontwikkelde meeningen omtrent de natuur der dingen nietsbeteekenend zijn, of zelfs met de ervaring regelregt in tegenspraak staan.

Ook in de middeleeuwen werden de natuurwetenschappen slechts weinig verder ontwikkeld, ten deele omdat de wijsbegeerte van ARISTOTELES in zoo hoog aanzien stond, dat hierdoor ieder verder onderzoek van de in haar uitgedrukte voorstellingen omtrent de natuur, en bijgevolg ook alle vooruitgang was afgesneden.

Eerst GALILEI sloeg den weg der ervaring in, en BACO VAN VERULAM toonde aan, dat het slechts op deze wijze mogelijk is, om tot de kennis der natuurwetten te geraken.

De eenige bron van onze kennis der natuur is de zintuigelijke waarneming, de ervaring, de aanschouwing. Uit deze bron putten wij het materiaal, hetwelk door bemiddeling van onzen geest tot eene wetenschap moet worden verarbeid en vereenigd.

De wetenschappelijke waarnemingen geschieden of aan veranderingen, welke ons de natuur van zelve aanbiedt, of wij plaatsen de ligchamen door kunst onder zoodanige omstandigheden, waardoor zij gedwongen worden, zekere uitwerkselen voort te brengen. In het eerste geval doen wij eene *waarneming*, in het tweede eene *proeve*.

Door goede waarnemingen en doelmatig in het werk gestelde proeven leeren wij den *uitwendigen zamenhang* der verschijnselen kennen. Dezen zamenhang noemen wij eene *natuurwet*.

Langs den weg der ondervinding komen wij tot de kennis dezer wetten, al blijft daarbij ook de inwendige zamenhang, de natuur der krachten, het wezen der dingen, ons geheel en al onbekend. De wet van de breking des lichts was reeds lang bekend, voordat men het eens was over de natuur van het licht; en desgelijks kennen wij ook de wetten van de verdeeling der electriciteit, ofschoon wij over het wezen van de electriciteit zelf zoo goed als niets weten.

Slechts de uitwendige, niet de inwendige zamenhang kan door de ervaring gevonden worden. Over de innerlijke oorzaken der verschijnselen, over het wezen der krachten waardoor zij worden voortgebragt, kunnen wij slechts hypothesen stellen. Deze hypothesen zijn als het ware vragen, die men tot de natuur rigt, op welke zij echter niet met *ja* en met *neen* antwoordt, maar met: *het kan zoo zijn*, of: *het kan niet zoo zijn*.

Uit de hypothese, die men omtrent de oorzaak van onderscheidene zamenhangende verschijnselen heeft gesteld, kunnen meestal verdere gevolgtrekkingen worden afgeleid, die door voortgezette waarnemingen of bevestigd, of onvoldoende bevonden worden. Hoe meer daadzaken zich met behulp eener hypothese laten verklaren, hoe meer zij door nieuwe waarnemingen bevestigd wordt, des te meer waarschijnlijkheid verkrijgt zij.

In ieder gedeelte der physica vinden wij voorbeelden en bewijzen voor de waarheid der boven voorgedragen meeningen.

EERSTE AFDEELING.

ALGEMEENE EIGENSCHAPPEN DER LIGCHAMEN.

---

4 Daar de physica zich met ligchamen bezig houdt, is het vóór alles noodzakelijk, om zich eene voorstelling van het wezen dezer ligchamen te maken, en dit doel bereikt men in de eerste plaats door de beschouwing der *algemeene eigenschappen*, d. i. van die eigenschappen, welke wij bij alle ligchamen waarnemen, hoe verschillend van elkander zij overigens ook zijn mogen.

Tot het bestaan eens ligchaams wordt volstrekt vereischt, dat het eene begrensde ruimte inneme, dat het derhalve *uitgebreidheid* bezit; en dat er in dezelfde ruimte niet te gelijker tijd twee ligchamen aanwezig kunnen zijn, welke eigenschap men bestempelt met den naam van *ondoordringbaarheid*. Behalve deze beide eigenschappen, zonder welke er volstrekt geene stof denkbaar is, neemt men echter nog andere eigenschappen waar, namelijk *deelbaarheid*, *uitzetbaarheid* en *zamendrukbaarheid*, *poreusheid*, *traagheid* en *zwaarte*.

5 **Deelbaarheid.** Zoo verre onze ondervinding strekt, zijn alle ligchamen *deelbaar*, d. i. wij kunnen ze in kleinere en steeds kleinere deeltjes verdeelen.

Hoe verre gaat evenwel deze deelbaarheid? komen wij bij eene steeds voortgezette verkleining eindelijk ook tot deeltjes die nog wel voor de zintuigen waarneembaar, doch niet verder deelbaar zijn? Voor zoo verre ons de ondervinding leert, gaat de deelbaarheid steeds de grenzen der zintuigelijke waarneming verre te boven. Als een voorbeeld van buitengewone deelbaarheid voert men gewoonlijk den moschus aan, die gedurende jaren eene geheele kamer met eenen sterken reuk kan vervullen, zonder daarbij merkbaar in gewigt te verminderen.

In alle scheikundig zamengestelde ligchamen vinden wij het beste bewijs, dat de deelbaarheid verder gaat dan wij met onze zintuigen kunnen waarnemen. De cinnaber b. v. is uit kwikzilver en zwavel zamengesteld, en kan gemakkelijk weder in deze zelfstandigheden ontbonden worden; maar het is ons niet mogelijk, om de kleine deeltjes van zwavel en kwikzilver afzonderlijk van elkander te onderscheiden, en zelfs bij onderzoek met het beste mikroskoop, doet zich de cinnaber nog altijd voor als eene volkomen homogene (gelijksoortige) massa.

Hoewel nu de deelbaarheid grooter is dan de zintuigelijke waarneming kan nagaan, kunnen wij toch niet aannemen, dat zij onbegrensd zij. Stelde men, dat de deelbaarheid tot in het oneindige voortging, dan zou men, met andere woorden, hiermede beweren, dat de grootte der laatste gronddeeltjes nul ware; doch ingeval deze gronddeeltjes geene uitgebreidheid bezitten, kan door hunne zamenvoeging ook onmogelijk een ligchaam ontstaan hetwelk uitgebreidheid bezit.

Op deze beschouwingen steunende, nemen de natuurkundigen aan, dat alle ligchamen zamengesteld zijn uit kleine deeltjes die niet verder kunnen verdeeld worden, ondeelbaar zijn, en die men daarom *atomen* noemt.

Deze meening omtrent de zamenstelling der ligchamen is tegenwoordig, onder den naam van *atomentheorie*, door alle natuur- en scheikundigen aangenomen.

Wanneer men in het algemeen van kleine deeltjes spreekt, zonder juist deze gronddeeltjes, de atomen, te bedoelen, bedient men zich gewoonlijk van het woord *molecule*, dat gelijkbeteekenend is met ligchaams-(massa-)deel.

Uitzetbaarheid en Zamendrukbaarheid. Eene tweede algemeene 6
eigenschap is de *uitzetbaarheid* en de daarmede in verband staande *zamendrukbaarheid*. Hetzelfde ligchaam beslaat niet altijd dezelfde ruimte; het kan door drukking en afkoeling verkleind, door uitrekking en verwarming vergroot worden. Indien wij nu aannemen, dat de atomen onveranderlijk zijn, dan kan men de uitzetbaarheid slechts verklaren door de aanname, dat de atomen elkander niet onmiddellijk raken, maar van elkander gescheiden zijn door tusschenruimten, door wier vergrooting of verkleining de omvang der ligchamen vermeerdert of vermindert.

Poreusheid. De tusschenruimten, welke zich tusschen de on- 7
derscheidene deeltjes der ligchamen bevinden, worden *porien* genoemd. Begrijpt men hieronder ook de ruimten tusschen de atomen der ligchamen, dan is, ingevolge het bovengezegde, ieder ligchaam poreus, en is de poreusheid derhalve eene algemeene eigenschap. In het dagelijksche leven verstaat men echter door porien slechts die tusschenruimten, welke groot genoeg zijn om vloeistoffen en gassen door te laten. In dezen zin is de poreusheid voorzeker niet eene algemeene eigenschap. Eene spons, alle kunstmatige weefsels, krijt, puimsteen enz. zijn poreus in de naauwere beteekenis des woords.

Verschillende geaardheid der atomen. Nadat wij in de beschouwing 8
der deelbaarheid en uitrekbaarheid de grondslagen van de atomentheorie ontwikkeld hebben, willen wij vooreerst nagaan, hoedanig de verschillende ligchamen zich uit atomen laten construeren, voordat wij tot de beschouwing der overige algemeene eigenschappen overgaan.

In de natuur treffen wij eene menigte van ligchamen aan, wier eigenschappen zoo verschillend zijn, dat wij noodzakelijk moeten aannemen dat reeds de atomen, waaruit zij zamenge-

steld zijn, eene verschillende geaardheid bezitten. Beschouwen wij b. v. zwavel en lood; deze ligchamen verhouden zich zeer verschillend, en wij kunnen dit verschil slechts daaruit verklaren, dat de atomen der zwavel niet dezelfde geaardheid bezitten als die van het lood.

De meeste ligchamen zijn niet uit gelijksoortige, maar uit ongelijksoortige bestanddeelen zamengesteld, al is het ook dat zij in hun uitwendig voorkomen zich geheel en al gelijksoortig voordoen, zoo als wij dit reeds aangevoerd hebben bij den cinnaber, die uit zwavel en kwikzilver is zamengesteld; zoo is ook het water zamengesteld uit zuurstof en waterstof, het keukenzout uit chlorium en sodium, enz. Zulke ligchamen noemt men *scheikundig zamengestelde*, in tegenoverstelling van die, welke niet verder in ongelijksoortige bestanddeelen kunnen gescheiden worden, en die men daarom ook *enkelvoudige ligchamen*, *grondstoffen* of *elementen* noemt. Wij kennen 54 zoodanige grondstoffen, die men, ten minste tot heden, niet in staat is geweest om verder te ontleden; met de beschouwing dezer grondstoffen, en de wijze hoe en waarop de overige ligchamen daaruit zijn zamengesteld, houdt zich de scheikunde bezig.

9 **Aggregatie toestanden.** Behalve de zoo even vermelde, nemen wij aan de ligchamen nog andere eigenschappen waar, die niet van het verschil der bestanddeelen afhankelijk zijn, maar van de verschillende wijze hoe de deeltjes verbonden zijn; ja dezelfde stof kan zich aan ons in verschillende gedaanten voordoen, zoo als het water b. v., dat als ijs vast, als water vloeibaar en daarentegen als damp gasvormig is; zonder de zamenstelling te veranderen, kunnen wij het water in ijs en het ijs in water veranderen, wij kunnen het water verdampen en den damp weder tot water verdigten.

Al de ligchamen, welke wij kennen, bevinden zich in eenen der drie, bij het water vermelde, toestanden, zij zijn *vast*, *vloeibaar* of *gasvormig* (luchtvormig).

De *vaste ligchamen* bezitten, de geringe veranderingen door de warmte veroorzaakt daarvan afgerekend, een *onveranderlijk volumen* en eene *zelfstandige gedaante;* ook wordt er eene meer of min aanmerkelijke kracht vereischt om een vast ligchaam te verdeelen. Het is b. v. onmogelijk, om een stuk ijzer tot op de helft of een derde van zijn volumen zamen te persen, of om te maken dat het eene dubbele of driedubbele ruimte beslaat; slechts door de aanwending van groote kracht is het ons mogelijk, zijne gedaante te veranderen of het te verdeelen.

De *vloeistoffen* hebben, in denzelfden zin als de vaste ligchamen, een *onveranderlijk volumen*, want ofschoon wij ze door sterke drukking ook een weinig vermogen zamen te persen, en hoewel zij zich bij verwarming een weinig uitzetten, zijn deze veranderingen van haar volumen toch altijd zeer onbeduidend; wij kunnen het water, waarmede eene flesch gevuld is, niet in een vat van de halve grootte zamenpersen, en wanneer wij het

overgieten in een vat dat eens zoo groot is, dan is dit daarmede slechts ten halve gevuld. Evenwel hebben de vloeistoffen *geene zelfstandige gedaante*, zoo als de vaste ligchamen, maar de gedaante der ruimte welke zij beslaan, is van de gedaante der vaste ligchamen welke haar omgeven, dus van den vorm van het vat, afhankelijk; wanneer een vat met eenige vloeistof niet volkomen gevuld is, dan is deze van boven door eene horizontale oppervlakte begrensd. Eindelijk onderscheiden de vloeistoffen zich van de vaste ligchamen nog daardoor, dat reeds de minste kracht toereikend is, om hare deeltjes van elkander te scheiden.

De *gasvormige ligchamen* hebben geene zelfstandige gedaante noch een bepaald volumen, de ruimte, welke zij innemen, is enkel afhankelijk van de uitwendige drukking. Men kan eene luchtmassa gemakkelijk tot op $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{10}$ van haar volumen zamenpersen, en omgekeerd, wanneer men haar in eene 2, 4, 10 maal grootere ledige ruimte brengt, vervult zij deze ook volkomen, gelijk wij later meer uitvoerig zullen zien; zij streven derhalve, om zich zooveel mogelijk uit te zetten. Met de vloeistoffen hebben zij de gemakkelijke deelbaarheid gemeen.

Deze uitwendige verschillen der ligchamen kunnen, volgens onze meening omtrent de zamenstelling der ligchamen, slechts hierop berusten, dat bij de vaste ligchamen de afzonderlijke deeltjes niet alleen op eenen bepaalden afstand van, maar ook in eene bepaalde wederkeerige ligging tot elkander blijven; terwijl de deeltjes der vloeistoffen wel op eenen bepaalden afstand van elkander blijven, maar toch zeer gemakkelijk over elkander verschuifbaar zijn; bij de gasvormige ligchamen eindelijk vinden wij een streven der deeltjes, om zich zoo verre mogelijk van elkander te verwijderen.

Moleculaire krachten. Daar er eene kracht vereischt wordt, om 10
de deelen van een vast ligchaam van elkander te scheiden, en daar er integendeel bij de gasvormige ligchamen ook eene uitwendige kracht gevorderd wordt, om de deelen bij één te houden, is het duidelijk, dat de ligchamen niet blootelijk door eene aanéénlegging der atomen gevormd kunnen zijn, want dan zouden zij slechts eene onzamenhangende massa, op eenen zandhoop gelijkende, daarstellen. Er moeten derhalve krachten zijn, waardoor de deelen der vaste ligchamen in hunne wederkeerige ligging bevestigd gehouden worden, waardoor hunne inwendige en uitwendige gedaante bepaald wordt; en omgekeerd moeten er ook krachten bestaan, welke de deelen der gassen van elkander verwijderen.

Deze krachten, welke voortdurend tusschen de naburige moleculen der ligchamen werkzaam zijn, worden *moleculaire krachten* genoemd.

De kracht, welke de deelen der vaste ligchamen te zamen houdt, noemt men *zamenhangs- (cohaesie-)kracht*, en men stelt, dat zij haren grond heeft in eene wederkeerige aantrekking der atomen.

Doch wanneer de atomen elkander wederkeerig aantrekken, is het niet duidelijk, hoe dezelfde atomen elkander wederkeerig afstooten kunnen; om derhalve de afstooting te verklaren, die wij bij de gassen opmerken, moeten wij eene andere kracht, de *uitzettings-(expansie-)kracht* aannemen.

Door verwarming kunnen wij vaste ligchamen smelten, d. i. vaste ligchamen in vloeibare veranderen, en door warmte de vloeibare ligchamen verdampen, d. i. in den luchtvormigen toestand brengen; blijkbaar werkt hier dus de warmte de cohaesiekracht tegen, en wij nemen daarom aan, dat de warmte één zij met de genoemde expansiekracht. Men denkt zich de moleculen der ligchamen als het ware van atmospheren van warmtestof omhuld, waardoor de aantrekking der moleculen zelve gewijzigd wordt, en verklaart zoo, dat aantrekking en afstooting van dezelfde middelpunten uitgaan. Naarmate de cohaesiekracht of de expansiekracht overwegend is, zijn de ligchamen vast of gasvormig; bij vloeibare ligchamen zijn deze krachten in evenwigt.

11 **Traagheid.** In de geheele natuur kan er geene verandering in den toestand der dingen plaats grijpen, zonder dat eene bijzondere oorzaak daartoe aanleiding geeft. Welke veranderingen derhalve een ligchaam ondergaan moge, hetzij veranderingen in den toestand van rust of beweging, hetzij veranderingen in den aggregatietoestand enz., steeds is er, tot het voortbrengen van zulk eene verandering, eene kracht noodig. Indien een ligchaam in rust is, dan is er eene kracht noodig om het in beweging te brengen; is het in beweging, dan wordt er eene kracht vereischt om het in den toestand van rust te brengen; een ligchaam, eens in beweging zijnde, zal zijne beweging met onveranderde snelheid in onveranderde rigting voortzetten, zoo lang tot dezelve door uitwendige invloeden wordt verhinderd. Men bestempelt deze eigenschap der ligchamen met den naam van *traagheid.*

Reeds in het dagelijksche leven treffen wij menigvuldige verschijnselen aan, welke zich door de wet der traagheid laten verklaren. Het vliegwiel van eene machine blijft nog eene poos ronddraaijen, nadat reeds de kracht, welke de machine drijft, heeft opgehouden te werken; het zou eeuwig blijven voortloopen, zoo niet door de wrijving de beweging gestadig vertraagd werd.

Wanneer men hard loopt, kan men niet plotseling ophouden, en wanneer men in eene schuit staat, valt men met het bovenlijf achterwaarts, als de schuit van wal gestooten wordt, voorwaarts, wanneer zij bij het aanlanden stoot. Wij zullen later in de gelegenheid komen, om den invloed der traagheid op vele bewegingsverschijnselen nog duidelijker aan te toonen.

Ingevolge de wet der traagheid moet een ligchaam weerstand bieden aan iedere kracht, die het uit den toestand van rust in dien van beweging brengt, of waardoor, wanneer eenmaal het *ligchaam in* beweging is, zijne beweging versneld, vertraagd,

of zelfs wel geheel verhinderd wordt. Het is diensvolgens duidelijk, dat het uitwerksel, hetwelk door eene kracht op den toestand van beweging eens ligchaams wordt uitgeoefend, ten deele van de grootte (intensiteit) der kracht, van den anderen kant ook van de grootte der traagheid afhankelijk is.

Hoe grooter de hoeveelheid stof, d. i. hoe grooter de *massa* is, waarop eene kracht werkt, des te grooter is ook de wederstand, welken de kracht te overwinnen heeft; wij berekenen op dien grond in het algemeen de massa van eenig ligchaam naar de grootte van den wederstand, dien het ten gevolge zijner traagheid aan eene versnellende of vertragende kracht biedt. Deze begrippen omtrent traagheid en massa zullen later, vooral door de leer der zwaarte en der beweging volkomen duidelijk en begrijpelijk worden.

Zwaarte. Zoo men eenen steen, een stuk hout, enz. van 12
den grond verwijderd, aan zich zelve overlaat, vallen zij naar beneden, zoo lang tot zij den grond of eenig ander ligchaam, waardoor zij in hunnen val worden opgehouden, bereikt hebben. Naardien de stof traag is, kan zij niet van zelve uit den toestand van rust in dien van beweging overgaan. Wanneer wij dus zien, dat een in rust zich bevindend ligchaam op hetzelfde oogenblik zich begint te bewegen, waarop wij het zijnen steun ontnemen, moeten wij dit aan eene kracht toeschrijven, en deze kracht noemen wij *zwaartekracht.*

De *zwaartekracht* is derhalve die kracht, welke de ligchamen doet *vallen.* Deze bepaling zou echter eene zeer onjuiste meening omtrent de zwaartekracht doen opvatten, indien men meende, dat zij enkel en alleen dit uitwerksel voortbragt. Wij zullen weldra zien, dat zij nog geheel andere verschijnselen, geheel andere bewegingen voortbrengt. De beweging der stroomen welke zich naar de zee begeven, het opstijgen eener kurk van den bodem des waters naar zijne oppervlakte, het stijgen der luchtballons zijn louter uitwerksels van dezelfde kracht, die wij zwaartekracht noemen.

Ter bepaling van de rigting der zwaartekracht is er geen beter middel, dan om eenen draad aan het eene einde ergens te bevestigen, en aan het andere einde een ligchaam van eenige zwaarte te hangen. Wanneer de draad gespannen en in rust is, valt hij naauwkeurig in dezelfde rigting als die van de zwaartekracht; want wanneer deze kracht in eene andere rigting werkte, zou zij den draad in die rigting heen trekken. Dit kleine werktuig noemt men het *pas- of schietlood*, de lijn, welke de draad ter bereiking van het evenwigt beschrijft, noemt men de *loodlijn.* De rigting der zwaartekracht is derhalve die van het paslood of der loodlijn. Niets is gemakkelijker dan haar op ieder oogenblik en op ieder punt van den aardbol te bepalen.

Fig. 1.



Gelijk wij later in de hydrostatica zullen zien, moet de oppervlakte van elke in rust zijnde vloeistof regthoe-

kig op de rigting der zwaartekracht zijn. In plaats daarvan zegt men ook wel, dat de rigting der zwaartekracht steeds regthoekig staat op de oppervlakte der aarde. Men begrijpt ligt, dat daardoor niet de werkelijke oppervlakte der aarde met al hare bergen en dalen, maar eene ideale oppervlakte te verstaan zij, welke men zich op de navolgende wijze voorstelt. Stellen wij, dat de atlantische oceaan, de zuidzee en alle zeeën, die met elkander in verband staan, voor een oogenblik in eene volkomene rust waren, dan zou die onmetelijke waterspiegel een gedeelte van eene bijna kogelvormige oppervlakte uitmaken. Denken wij ons nu, dat de verschillende deelen dezer oppervlakte zich, met behoud harer kromming, onder de oppervlakte van het vaste land uitstrekten, dan zouden zij de oppervlakte eens kogels vormen, die geene bergen noch dalen vertoonde. Dit ten deele wezenlijk, ten deele ideale oppervlak, wordt *waterpas*, *niveau* of *horizontaal vlak* genoemd. Wanneer men zegt, dat de top van den Montblanc 14690 voet boven de oppervlakte der zee gelegen is, dan beduidt dit, dat eene van dezen top tot op de voornoemde ideale oppervlakte vallende loodlijn, eene lengte heeft van 14690 voet. In Holland vindt men geheele landstreken, welke onder de oppervlakte der zee zijn gelegen, d. i. de verlengde oppervlakte van de zee strekt zich uit over de hoofden der inwoners.

De zwaartekracht is, gelijk uit het bovenstaande volgt, steeds naar het middelpunt der aarde gerigt. De rigtingen van het paslood zijn op twee verschillende plaatsen des aardbols diensvolgens ook niet paralel, maar zij maken met elkander eenen hoek, wiens tóp in het middelpunt der aarde valt. *Berlijn* en de *Kaap* de *Goede Hoop* zijn nagenoeg in den zelfden meridiaan gelegen. *Berlijn* ligt 52° 31′ 13″ benoorden, de *Kaap* 33° 55′ 15″ bezuiden de evennachtslijn; eene van *Berlijn* en eene andere van de *Kaap* naar het middelpunt der aarde getrokkene lijn, zouden dus eenen hoek van 86° 26′ 28″ met elkander maken, en dit is ook de hoek, dien het paslood te *Berlijn* met dat aan de *Kaap* maakt. Bewerkstelligt men deze proeve op kleine afstanden, b. v. op twee punten eener kamer, ja zelfs op twee verschillende plaatsen eener stad, dan komen ons de rigtingen van het paslood volkomen paralel voor. De rede daarvan is, dat het vereenigingspunt der beide rigtingen (het middelpunt der aarde) zich op eenen afstand van meer dan 6 millioen ellen (de halve diameter der aarde) bevindt. Dewijl nu 200 ellen naauwelijks het dertigduizendste gedeelte van den halven diameter der aarde uitmaken, volgt daaruit natuurlijk, dat twee paslooden, die 200 ellen van elkander verwijderd zijn, eenen hoek van ongeveer 6,3 seconden met elkander maken. Zijn de beide punten nog nader bij elkander, dan wordt de hoek der zelve al spoedig eene niet merkbare grootheid.

Wanneer een ligchaam door eenig steunsel in zijnen val verhinderd wordt, houdt toch de zwaartekracht niet op hare wer-

king te openbaren, maar zij uit zich in dit geval door de drukking, welke door haar op het steunsel wordt uitgeoefend.

De zwaarte is eene algemeene eigenschap der ligchamen, d. i. zij is niet alleen eene eigenschap der vaste ligchamen, maar zij openbaart zich ook in de druipvormige en de luchtvormige vloeistoffen. Het vallen der regendroppels is reeds een bewijs voor de zwaarte der druipvormige vloeistoffen; en dat ook de luchtvormige zwaarte bezitten, dat derhalve de dampkring, welke onzen aardbol omgeeft, op de oppervlakte der aarde drukt, zullen wij later in de gelegenheid zijn te bewijzen.

Gewigt. De grootte der drukking, welke een ligchaam op zijn 13
steunsel uitoefent, noemt men zijn *gewigt;* deze drukking nu wordt grooter met de vermeerdering zijner stoffelijke deelen. Ten einde het gewigt van verschillende ligchamen met elkander te vergelijken, bedienen wij ons van de *weegschaal*, wier gebruik algemeen bekend is, wier inrigting ons later nog te beschrijven staat.

In *Frankrijk* is de *gramme* als wettige eenheid van het gewigt aangenomen; en deze eenheid is bijna overal uitsluitend bij wetenschappelijke onderzoekingen in gebruik. *De gramme is het gewigt van eenen kubieken centimeter zuiver water in den toestand zijner grootste digtheid.*

Het Fransche gewigtstelsel heeft dit boven alle anderen voor, dat de eenheden van het gewigt en der ruimtemaat in eene eenvoudige verhouding tot elkander staan, zoodat men gemakkelijk van den omvang tot het gewigt, en omgekeerd kan besluiten *).

---

*) Men kan eene maat slechts dan als eens en voor altijd onveranderlijk bepaald noemen, wanneer zij aan eene onveranderlijke grootheid der natuur ontleend is, en dit is het geval bij het nieuwe fransche maatstelsel. Alle overige maatstelsels zijn eerst door vergelijking met de fransche maat vast bepaald geworden.

De onveranderlijke grootheid, waaraan de eenheid voor de fransche maat ontleend is, is de aardmeridiaan, d. i. de omvang van eenen grooten kring van den aardbol, welke door de beide polen gaat. Het 40 millioenste gedeelte van dezen omvang is eene *mètre*.

De lengte van eenen aardmeridiaan werd, door eene reeks van met de grootste naauwkeurigheid in het werk gestelde graad-metingen, gezocht, en bij deze meting de eenheid der oude fransche maat, de *toise* tot grondslag aangenomen; men vond op deze wijze vooreerst, hoeveel van zulke toisen in den aardmeridiaan bevat waren, en derhalve was daardoor eigenlijk reeds de lengte der toise onveranderlijk vast bepaald; doch aangezien men een geheel nieuw maatstelsel wilde daarstellen, nam men het 40 millioenste gedeelte van den in toisen uitgedrukten aardmeridiaan als nieuwe eenheid voor lengtemeting aan; kortom men bepaalde nu naauwkeurig de verhouding van de mètre tot de toise.

Daar men tegenwoordig in bijna alle wetenschappelijke werken het fransche maatstelsel bezigt, kwam het ons doelmatig voor, om in dit leerboek ook voor alle opgaven van maat ons van dit stelsel te bedienen; ten minste overal, waar het om eene naauwkeurige opgave te doen is. Om deze rede

14 **Massa.** Volgens de boven gegeven verklaring, is de massa van een ligchaam de hoeveelheid stofs, waaruit het zamengesteld is; van de hoeveelheid der stof eens ligchaams is echter de grootte zijner traagheid afhankelijk, en de grootte der traagheid is volgens dit begrip de eigenlijke maat der massa. In de zwaarte vinden wij evenwel eerst een geschikt middel ter bepaling van de massa des ligchaams.

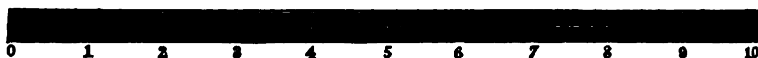
De massa van een ligchaam is steeds evenredig aan zijn gewigt. Dezen zamenhang tusschen massa en gewigt zien wij vooral door de ondervinding bevestigd, ofschoon zulks volgens het begrip dat wij ons van beide maken, niet volstrekt noodwendig ware; d. i. men zou zich kunnen voorstellen, dat er in de natuur ligchamen bestonden, op welke de zwaartekracht in het geheel niet werkte, hoewel zij daarom niet ophielden trage massa's te zijn. Men zou voorts kunnen denken, dat de zwaartekracht ongelijk op de deelen van verschillende zelfstandigheden werkte, dat een looden kogel b. v. slechts daarom zwaarder is dan een houten, omdat de zwaartekracht bij voorkeur juist op de deelen van den looden kogel werkt, zonder dat daarom de massa van den looden kogel grooter ware dan die van den houten kogel. Denken wij ons, om de zaak regt duidelijk te maken, twee even groote kogels, de een van hout, de andere van lood, en laat ons nu eens stellen, dat de massa van beide, d. i. hunne traagheid, gelijk zij, dan moet natuurlijk de looden kogel sneller vallen, want wij weten, dat de looden kogel ongeveer twaalf maal zwaarder weegt, dat dus de kracht, welke den looden kogel doet vallen, twaalf maal grooter is dan die,

---

zal het noodig zijn, hier nog omtrent dit nieuwe fransche maatstelsel het navolgende aan te merken:

De mètre (el) wordt onderdeeld in 10 decimètres (palmen), in 100 centimètres (duimen), in 1000 millimètres (strepen); de hierbij gedrukte kleine maat stelt eene decimètre met hare onderafdeelingen zoo naauwkeurig voor, als zulks op deze wijze doenlijk is.

Fig. 2.



De gewone ligchamelijke inhoudsmaat, zoowel als de vochtmaat en het gewigt, is bij het fransche maatstelsel van de lengtemaat afgeleid. De eenheid der vochtmaat is de litre (kan) =1000 kubieke centimètres. Eene kubieke centimètre water weegt 1 gramme (wigtje). 1000 grammes maken 1 kilogramme (pond). 1 litre water weegt dus 1 kilogramme.

1 gramme is gelijk aan 10 decigrammes (korrels) = 100 centigrammes = 1000 milligrammes *).

---

*) Bij deze opgave vindt men in het Hoogduitsche werk nog de verhouding van verschillende duitsche maten en gewigten tot het metrische stelsel opgegeven; die opgave vindt men in deze vertaling in de achter het werk gevoegde tabel. Overigens zal het wel niet noodig zijn te herinneren, dat het Nederlandsche maatstelsel geheel en al met het fransche overeenkomstig is. *Vert.*

waardoor de houten kogel naar beneden gevoerd wordt; zij zou derhalve bij eenen gelijken wederstand natuurlijk eene grootere snelheid bewerken. Nu valt echter de looden kogel niet sneller dan de houten (ten minste in de ledige ruimte), en daaruit volgt, dat de twaalf maal grootere kracht, waardoor de looden kogel naar de aarde wordt getrokken, ook eene massa met twaalf maal grootere traagheid in beweging brengen moet: dat derhalve de traagheid van de massa des looden kogels twaalf maal zoo groot is als die van den houten kogel.

Dewijl nu de snelheid van den val van alle ligchamen gelijk is (in de ledige ruimte), besluiten wij op denzelfden grond, dat de massa eens ligchaams steeds evenredig is aan zijn gewigt, dat dus het gewigt eene maat voor de massa is.

Digtheid. De *digtheid* der ligchamen is de verhouding van hun 15
gewigt tot hunnen omvang. In het begrip van digtheid ligt dat van *soortelijk(specifiek)gewigt* opgesloten. Ter bepaling van de digtheid der ligchamen, moet men de digtheid van het een of ander ligchaam, en hiertoe heeft men het water in den toestand zijner grootste digtheid verkozen, tot eenheid aannemen. *De digtheid of het soortelijk gewigt eens ligchaams is dan het getal, hetwelk aantoont, hoeveel malen een ligchaam zwaarder is dan een gelijk volumen water.* Een kubieke duim ijzer weegt 7,8, een kubieke duim goud 19,258 grammen, terwijl een gelijk volumen water slechts 1 wigtje weegt; derhalve is 7,8 het soortelijk gewigt van het ijzer, 19,258 dat van goud. *Men vindt algemeen het soortelijk gewigt van een ligchaam, wanneer men zijn absolute gewigt door het gewigt van een gelijk volumen water deelt.*

De gegevens derhalve, welke men door onderzoek bepalen moet, om uit dezelve het soortelijk gewigt van een ligchaam te berekenen, zijn het absolute gewigt van dit ligchaam en het gewigt van een gelijk volumen water.

Deze gegevens zijn het gemakkelijkste te vinden voor druipvormige vloeistoffen. Men vulle een vat, liefst een zoodanig, hetwelk van boven in eenen naauwen hals uitloopt, tot op eene bepaalde hoogte (tot aan eene aan den hals geteekende streep), eerst met water, daarna met de te onderzoeken vloeistof, en bepale telkenreize door middel van de balans het gewigt der in de flesch bevatte vochten. De Engelsche vitrool-olie zij b. v. gegeven, om op deze wijze haar specifiek gewigt te zoeken. Men plaatst daartoe het ledige glazen vat op de eene weegschaal, en legge op de andere het noodige tarra-gewigt daartegen. Nu wordt het vat tot aan het merkstreepje met water gevuld. Gesteld het hield 1 kan, d. i. 1000 kubieke duimen, dan zal het water, daarin bevat, juist 1000 wigtjes wegen. Vult men dan het vat met vitrool-olie, dan zal men op de andere schaal bij het tarra-gewigt nog 1848 wigtjes moeten leggen, om de balans weder in evenwigt te brengen. De vitriool-olie in de flesch weegt dus 1848 wigtjes, terwijl een gelijk volumen

water slechts 1000 wigtjes weegt, en het specifiek gewigt der vitriool-olie is derhalve $\frac{1848}{1000} = 1,848$.

Niet altijd hebben wij de vloeistoffen, die wij aan dit onderzoek moeten onderwerpen, in zulk eene hoeveelheid voorhanden, om daarmede een zoo groot vat als het pas beschrevene te vullen; en bovendien is er zelfs geen voordeel in, om zulke hoeveelheden te bezigen, omdat haar gewigt voor eene goede balans te zwaar is. Het is daarom doelmatig, kleinere vaten aan te wenden. De glazen, die men tot dit einde vervaardigt, hebben gewoonlijk de nevensgaande gedaante (Fig. 3) en zijn met eenen mat geslepenen glazen stop gesloten. De kubieke inhoud derzelve bedraagt 8—20 kubieke duimen. De glazen stop is uit een stuk van eene thermometer-buis vervaardigd, opdat een gedeelte van het vocht, bij verwarming, zich naar buiten kunne begeven, dewijl anders of de stop uit het vat zou gedrukt worden, of het vat springen.

Fig. 3.



Ter bepaling van het specifieke gewigt van vaste ligchamen, kan men uit deze een ligchaam van eene regelmatige gedaante, b. v. eenen teerling, eenen kogel enz., vormen, zoodat de kubieke inhoud van het te onderzoeken stuk gemakkelijk te berekenen is. Het absolute gewigt dezer ligchamen vindt men door middel van de balans, het gewigt van een gelijk volumen water is door het bekende volumen der ligchamen bepaald. Een teerling van marmer b. v. wege 21,6 wigtjes. Indien nu iedere zijde van den teerling 2 duimen bedraagt, dan is zijn kubieke inhoud 8 kubieke duimen; een even groote teerling van water zal dus 8 wigtjes wegen, bij gevolg is het specifiek gewigt van het marmer $\frac{21,6}{8} = 2,7$.

Een kogel van droog beukenhout wege 25,79 wigtjes. Indien de diameter van dezen kogel 4 duim bedraagt, kan men daaruit den kubieken inhoud berekenen, en zal dien = 33,49 kubieke duimen vinden. Een even groote kogel van water weegt dus 33,49 wigtjes, en het specifieke gewigt van beukenhout is diensvolgens $\frac{25,79}{33,49} = 0,77$.

Van iedere zelfstandigheid bezit men echter niet zulke groote massa's, om daaruit zoodanige regelmatige ligchamen te kunnen vormen, en bovendien is het uiterst moeijelijk, ja bijna onmogelijk, om regelmatige ligchamen met zulk eene naauwkeurigheid als hierbij noodzakelijk is, te vervaardigen. Wij moeten daarom naar andere methoden omzien, ter bepaling van het soortelijke gewigt van vaste ligchamen. De meeste dezer methoden berusten op hydrostatische wetten, die wij eerst later zullen leeren

kennen. De navolgende methode evenwel is niet op zoodanige regelen gegrond; zij wordt dikwijls aangewend, om het specifieke gewigt te bepalen van ligchamen, welke in kleine stukjes voorkomen.

Men brengt eerst het bovenvermelde glas, met water gevuld, op de balans in evenwigt, legt dan de korreltjes, wier specifiek gewigt bepaald moet worden, daarbij op de schaal en zoeke hun absoluut gewigt. Nu neemt men de korreltjes en het glas van de schaal, werpt de eerstgenoemde in het glas en zet er den stop weder op; dan moet er natuurlijk water uit het glas vloeijen, en wel juist zoo veel, als door de ingeworpen korreltjes is verdrongen geworden; weegt men dan het glas nogmaals, dan blijkt, hoeveel water er uitgevloeid is, hoeveel derhalve eene hoeveelheid waters weegt, wier volumen gelijk is aan het volumen van het te onderzoeken ligchaam.

Het zij ons b. v. gegeven om het specifieke gewigt te bepalen van platina-korrels, zoo als zij in de natuur voorkomen.

Het glas met water wege	13,52	wigtjes.
De korreltjes	4,056	——
Derhalve beide te zamen	17,576	wigtjes.

Nadat men de korrels in het glas geworpen, den stop daarop geplaatst, en al het uitgevloeide water zorgvuldig afgedroogd heeft, weegt men wederom. Gesteld, men vond nu het gewigt van het glas met al het daarin bevatte = 17,316 wigtjes, dan is natuurlijk het gewigt van het door de korreltjes verdrongen water 17,576 — 17,316 = 0,26 wigtjes, bijgevolg is het specifieke gewigt der platina-korreltjes $\frac{4,056}{0,26} = 15,6$.

Op dezelfde wijze kan men ook te werk gaan met grootere stukken, wanneer men slechts een geschikt vat bezigt.

Wanneer het te onderzoeken ligchaam in water oplosbaar is, vult men het glas met eene andere vloeistof, in welke het ligchaam niet opgelost wordt, b. v. met alcohol, terpentijn-olie enz. Op de bovengemelde wijze te werk gaande, vindt men nu het gewigt eener hoeveelheid van het gekozene vocht, die een even groot volumen heeft als het te onderzoeken ligchaam. Ingevalle echter het specifiek gewigt van dit vocht reeds bekend is, kan men gemakkelijk het gewigt van een gelijk volumen water berekenen.

Gesteld, een stuk van eenig zout, dat in terpentijn-olie onoplosbaar is, wege 0,352 wigtjes, en verdringe, in het glas geworpen, 0,13 wigtjes terpentijn-olie. Nu is het specifieke gewigt der terpentijn-olie 0,8725, eene gelijke hoeveelheid water weegt diensvolgens $\frac{0,13}{0,8725} = 0,149$, en het specifieke gewigt van het zout is derhalve $\frac{0,357}{0,149} = 2,36$.

TWEEDE AFDEELING.

HET EVENWIGT DER KRACHTEN.

EERSTE HOOFDSTUK.

Herleiding der krachten en evenwigt der krachten bij de zoogenaamde enkelvoudige werktuigen.

16 Een ligchaam is in evenwigt, wanneer al de krachten die op hetzelve inwerken, elkander wederkeerig vernietigen, of wanneer hare werking door eenigerhanden wederstand wordt verhinderd. Het uitwerksel der zwaarte van een ligchaam, hetwelk aan eenen draad is opgehangen, wordt voorkomen door den wederstand van den draad. Indien de draad niet sterk genoeg is, dan breekt hij, en het ligchaam valt naar den grond. Dikwijls bestaat er evenwigt zonder een vast steunpunt en zonder schijnbaren wederstand. De visch kan in evenwigt zijn in het water, en de luchtballon in de lucht, doch hierbij is de zwaarte van deze ligchamen vernietigd door eene drukking, waarover wij later zullen handelen.

Men kan zeggen, dat bij alle ligchamen, welke zich aan ons als in rust zijnde voordoen, onderscheidene elkander wederkeerig vernietigende krachten werkzaam zijn.

De *Statica* heeft ten doel, om de voorwaarden van het evenwigt op te sporen; de *Dynamica* daarentegen het onderzoek van de wetten der bewegingen, welke ontstaan, wanneer de voorwaarden tot evenwigt niet vervuld zijn.

Om de krachten te meten moet men eene enkele, onverschillig welke, kracht als eenheid aannemen.

Twee krachten zijn gelijk, wanneer zij, van uit verschillende rigtingen op een punt werkende, elkander in evenwigt houden. Twee gelijke krachten, in dezelfde rigting werkende, zijn gelijk aan het dubbele der kracht. Men zou eene driedubbele kracht verkrijgen, door de werking van drie gelijke krachten in de zelfde rigting enz.

Hoe vele krachten ook op een punt werken mogen, en welke ook hare rigting zij, zullen zij aan het punt toch slechts eene enkele beweging in eene bepaalde rigting mededeelen. Diensvolgens kan men zich eene kracht denken, die op zich zelve in staat is, om alleen hetzelfde uitwerksel voort te brengen, en die derhalve het zamenstel van al die gezamenlijke krachten kan *vervangen*. Zij draagt den naam van *zamengestelde (resulterende)*

kracht. Wanneer b. v. een schip door de gelijktijdige werking van den stroom, der riemen en van den wind wordt voortgedreven, beweegt het zich in eene bepaalde rigting; indien nu de werkingen van den stroom, der riemen en den wind ophielden, zou men niettemin aan het schip weder dezelfde beweging kunnen mededeelen, wanneer men aan een touw, aan het schip bevestigd, eene bepaalde kracht aanbragt in die rigting, in welke het zich onder de gelijktijdige inwerking der drie genoemde krachten bewoog. Deze is de resulterende der drie krachten.

Het geheel van de krachten, welke op een punt te zamen werken, noemt men een *stelsel van krachten.* In betrekking tot de resulterende kracht, welke het geheele zamenstel dier krachten vervangen kan, noemt men de laatste ook *zijdelingsche krachten* Het spreekt van zelf, dat wanneer men bij een stelsel van krachten nog eene nieuwe kracht voegt, welke aan de resulterende kracht gelijk en tegenovergesteld is, dat dan alle zamenwerkende krachten elkander in evenwigt moeten houden.

Indien men b. v., om bij het boven aangevoerde voorbeeld te blijven, langs een touw, aan het schip bevestigd, eene kracht liet werken, welke aan de resulterende kracht van wind, stroom en riemen gelijk was, doch in eene tegenovergestelde rigting werkte, dan zou deze nieuwe kracht evenwigt maken met de andere, en het schip zou stil blijven liggen, even als of het voor anker ware.

Wanneer twee of meer krachten in dezelfde rigting werken, dan is hare resulterende kracht gelijk aan de som der afzonderlijke krachten. — Wanneer twee krachten in juist tegenovergestelde rigting op een punt inwerken, dan is de resulterende gelijk aan het verschil van beide, en werkt in de rigting der grootste kracht.

Wanneer de rigtingen van twee krachten, welke op eenig ligchamelijk punt inwerken, eenen hoek met elkander maken, dan vindt men de resulterende kracht volgens eene wet, welke onder den naam van het *paralellogram der krachten* bekend is. Men komt tot deze wet door de navolgende eenvoudige beschouwing.

Fig. 4.



Op het punt *a* (Fig. 4) worden twee krachten gerekend gelijktijdig in te werken, de eene in de rigting *ax*, de andere in de rigting *a y*. De eerste kracht zij gerekend, het punt *a* in eene bepaalde tijdruimte, b. v. eene seconde, voort te bewegen, terwijl de andere het in denzelfden tijd van *a* naar *c* zou voeren. Wanneer nu het punt gedurende den tijd van eene seconde aan de gelijktijdige inwerking van beide krachten is onderworpen, dan is het uitwerksel natuurlijk hetzelfde, alsof het punt in eene seconde enkel aan de inwerking der eene, in de volgende seconde echter alleen aan de inwerking der andere kracht gehoorzaamd hadde. De eerste kracht alleen voert het punt in eene seconde van *a* naar *b*. Hield nu op het oogenblik, waarop het punt in b

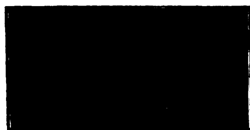
aankomt, de inwerking van deze kracht op, terwijl het punt nu af de inwerking der tweede kracht volgde, dan zou he het einde der volgende seconde in *r* aankomen. In hetze punt *r* moet derhalve ook het punt *a* na verloop van eene seco aankomen, wanneer beide krachten gelijktijdig werken. Wij len dit door een voorbeeld ophelderen. Van uit het punt *A*

Fig. 5.



den oever vaart een schip af, waarop te gelijkertijd twee kr ten, de stroom en de wind, inwerken. Stellen wij, dat het s door den wind alleen in eenen bepaalden tijd, b. v. een kw tier-uurs, dwars door het water, van *A* naar *B* gedreven worden, terwijl het door den stroom alleen, ingevalle er g wind woei, in denzelfden tijd van *A* naar *C* zou gevoerd v den, dan moet het, wanneer de stroom en de wind gelijkti inwerken, in een kwartier-uurs den afstand van *A* tot *C* af gen, d. i. het moet na verloop van een kwartier-uurs on gelijktijdige inwerking van beide krachten in hetzelfde pun aankomen, als wanneer de wind alleen in den tijd van kwartier-uurs het schip van *A* naar *B* gedreven had, en dan in het volgende kwartier-uurs door den stroom alleen *B* tot *D* gevoerd ware.

Fig. 6.



De lijn *ar* (Fig. 6) is de diagonaal het paralellogram *a b r c;* de uit onze schouwing voortgevloeide wet kan di volgens op de volgende wijze wor uitgedrukt:

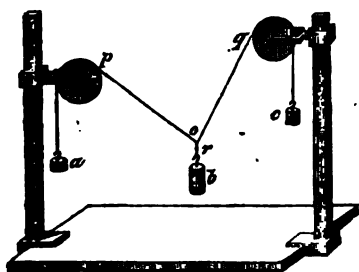
„De resulterende **van twee** kracht welke tegelijkertijd onder eenigen h op een stoffelijk punt inwerken, is die, **welke het punt tr** voort te bewegen langs de diagonaal van het paralellogr hetwelk men construeren kan uit de wegen, welke met e van de zijdelingsche krachten overeenkomen."

Dewijl de weg, welken een ligchaam in eenen bepaalden doorloopt, evenredig is aan de kracht die het beweegt, dewijl het verder bij de bepaling der resulterende kracht sle te doen is, om hare rigting en de *verhouding* harer grootte de beide zijdelingsche krachten te vinden, kan de wet ook w *den uitgedrukt* gelijk volgt:

„Wanneer men door het punt van zamenkomst van twee krachten zich twee lijnen voorstelt in de rigting dier krachten getrokken, en wier lengte aan deze krachten evenredig is, dan wordt door de diagonaal van het paralellogram, hetwelk door deze beide lijnen bepaald is, zoowel ten opzigte van de grootte als van de rigting, de resulterende van beide krachten daargesteld."

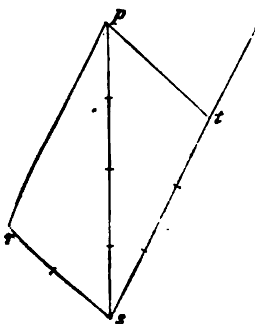
Naardien er tusschen drie krachten evenwigt zijn moet, wanneer elke der resulterende aan de beide andere gelijk en tegenovergesteld is, kan men voor de door gevolgtrekkingen afgeleide wet van het paralellogram der krachten, ook ligtelijk door eene, aan de statica zelve ontleende, proeve het bewijs leveren. Aan eene plank zijn twee verticale staven vastgeschroefd, en aan iedere staaf is eene beweegbare schuif, welke eene, in verticale rigting om hare as bewegelijke, katrolschrijf draagt: de staven moeten zoodanig vastgeschroefd zijn, dat de beide katrollen in hetzelfde horizontale vlak liggen. Slaat men nu eenen draad over de katrolschijven, en hangt men aan het eene einde een gewigt a, aan het andere einde een gewigt c, en tusschen de katrollen een gewigt b, dan zal zich bij eene bepaalde rigting der draden alles in evenwigt stellen; men heeft nu drie op het punt c in de rigting $o\,p$, $o\,q$ en $o\,r$ werkende krachten, en het is ligt na te gaan, of er tusschen de grootte en de rigting derzelve die verhouding bestaat, zoo als zulks door het paralellogram der krachten gevorderd wordt.

Fig. 7.



Men stelle b. v. het gewigt $a = 2$ lood, $c = 3$ lood; en men vraagt hoe groot de kracht b moet zijn; wanneer de hoek $p\,o\,q$ 75° zal zijn. Naar aanleiding der bovengemelde wet kan men de resulterende ligtelijk vinden door constructie, gelijk dit Fig. 8 geschied is. Wanneer de hoek $r\,s\,t = 75°$, $r\,s = 2$, $s\,t = 3$ (onverschillig volgens welke eenheid) genomen wordt, dan vindt men, dat de diagonaal $s\,t = 4$ is. Wanneer dus de hoek $p\,o\,q = 75°$ zal worden, moet het gewigt $b = 4$ lood zijn. Ingevalle men een gewigt van 4 looden in s hangt, bedraagt de hoek $p\,o\,q$ van de koord ook wezenlijk 75°, waarvan men zich gemakkelijk kan overtuigen, door de, op eene eenigzins grootere schaal uitgevoerde, constructiefiguur achter het koord te houden. Werkelijk valt dan $r\,s$ met $o\,p$ en $s\,t$ met $o\,q$ zamen.

Fig. 8.



Zoo men, bij overigens gelijke omstandigheden, *b* zwaarder dan vier lood gemaakt had, zou de hoek *p o q* kleiner dan 75° geworden zijn. Hoe ligter *b*, des te grooter zal de hoek *p o q* moeten zijn.

Wanneer de beide krachten gelijk zijn, deelt de resulterende den hoek, dien zij met elkander maken, in twee gelijke deelen.

Zijn de beide krachten ongelijk, dan deelt de resulterende den hoek van beide krachten niet in gelijke deelen; zij ligt dan altijd het naast bij de grootste.

Daar men de resulterende kan vinden van twee krachten die op een punt werken, kan men ook gemakkelijk de resulterende van een grooter aantal van krachten vinden; men behoeft namelijk slechts de resulterende te zoeken der beide eerste krachten, vervolgens zoekt men de resulterende van de pas gevondene met de derde kracht, brengt deze resulterende weder in verband met de vierde enz.

Naardien twee krachten door eene enkele kunnen worden vervangen, kan men omgekeerd voor eene kracht ook twee andere in de plaats stellen. Men ziet voorts ook ligt in, dat ontelbaar vele verschillende stelsels van twee krachten dezelfde resulterende kunnen hebben, en dat derhalve omgekeerd eene kracht ook op oneindig verschillende wijzen door een stelsel van twee krachten kan vervangen worden. Wanneer men b.v. de kracht *a r* (Fig. 9) door twee andere krachten wenschte te vervangen, van welke de eene de rigting *a y* en de grootte *a c* moest hebben, dan ware daarmede aan het verlangen reeds volkomen voldaan, omdat er dan nog slechts eene enkele wijze overblijft om het paralellogram te voltooijen en de zijdelingsche kracht *a b* te vinden.

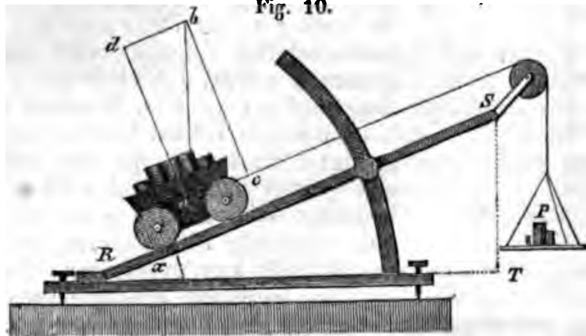
Fig. 9.



Uit het paralellogram der krachten kunnen de wetten van het evenwigt worden afgeleid voor alle de zoogenaamde enkelvoudige werktuigen, die wij thans volgens de rij af zullen behandelen.

17 **Het hellend vlak** geeft ons een praktisch voorbeeld van de

Fig. 10.



herleiding der krachten. Wanneer een last zich bevindt op een

vlak, hetwelk met het horizontale vlak eenen hoek x maakt, dan is de naar de rigting $a\ b$ (Fig. 10) werkende zwaarte van het ligchaam niet meer regthoekig op het vlak gerigt, en dus behoeft het vlak ook niet den vollen druk van het gewigt van den last te dragen. Inderdaad kan men de zwaarte van het ligchaam herleiden tot twee andere krachten, van welke de eene regthoekig op het vlak als druk werkt, terwijl de andere, paralel met het hellende vlak werkende, het ligchaam naar beneden voert. De grootte van deze beide krachten kan ligtelijk door constructie worden gevonden. Wanneer $a\ b$ de grootte en de rigting der zwaartekracht voorstelt, behoeven wij door a slechts eene lijn die regthoekig met het hellend vlak, en eene andere die daarmede paralel loopt, te trekken, en daarna de loodlijnen $b\ d$ en $b\ c$ op deze lijnen te trekken. De lijn $a\ d$ stelt de grootte van den druk voor, welken het vlak heeft te dragen, $a\ c$ echter de grootte van de kracht, door welke de last langs het hellend vlak naar beneden wordt gedreven, of met andere woorden, de drukking op het vlak en de kracht door welke het ligchaam paralel met het hellend vlak wordt bewogen, verhouden zich tot het gewigt des ligchaams, als de lijnen $a\ d$ en $a\ c$ tot $a\ b$.

Nu is echter de driehoek $a\ b\ c$ gelijkvormig aan driehoek $R\ S\ T$, en wel verhoudt zich $a\ b : a\ c = R\ S : S\ T$, en daaruit volgt, dat de kracht, welke het ligchaam langs het hellend vlak naar beneden drijft, zich verhoudt tot het gewigt des ligchaams, gelijk de hoogte van het hellende vlak tot zijne lengte.

Noemt men x den hoek, welken het hellend vlak met het horizontale maakt, dan is $a\ c = a\ b.\ \sin.\ x$ en $b\ c = a\ b\ \cos.\ x$, en bijgevolg is, wanneer wij door P het gewigt van het ligchaam verstaan, de drukking, welke het hellend vlak te dragen heeft, gelijk $P\ \cos.\ x$, en de kracht, welke het langs het hellende vlak naar beneden drijft gelijk $P\ \sin.\ x$.

Eene proeve moge dienen om dit nog duidelijker te maken en te bevestigen. Men plaatse den last in eenen kleinen wagen en den laatsten op een hellend vlak, dan zal hij dadelijk naar beneden rollen. Men kan dit afrollen voorkomen, door aan den wagen eene koord te bevestigen, die om eene katrol geslagen is, en aan wier einde men een gewigt P hangt.

Gesteld, de kleine wagen met den daarin liggenden last wege 1000 wigtjes, en de hoek x zij 30°. Voor dit geval is $S\ T = \frac{1}{2}\ R\ S$, dus ook $a\ c = \frac{1}{2}\ a\ b$, d. i. de kracht, welke den wagen naar beneden drijft, is gelijk aan de helft van zijn gewigt; men zal derhalve het afrollen kunnen voorkomen, wanneer men het gewigt $P = 500$ wigtjes maakt.

Ware de hoek $x = 19°\ 30'$ dan zou $S\ T = \frac{1}{3}\ R\ S$ zijn, en men behoefde dan voor het gewigt P slechts $\frac{1000}{3} = 333$ wigtjes te nemen, om het afrollen te verhinderen.

Daar sin. 14° 30′ ten naastenbij gelijk $\frac{1}{4}$ is, d. i. voor hoek $x = 14° 30′$ $S\,T = \frac{1}{4}\,R\,S$, moet voor dit geval $P = \frac{1}{4}\,1000 =$ 250 wigtjes zijn.

Om deze proeve bij verschillende hoeken in het werk te kunnen stellen, bezigt men voor hellend vlak eene gepolijste plaat, welke door middel van eene scharnier zoodanig aan eene andere horizontale plaat bevestigd is, dat men haar naar willekeur kan plaatsen. De katrol, om welke de koord geslagen is, kan aan de plaat bevestigd zijn; doch men kan zich daartoe ook van een der staven van Fig. 7 bedienen, dewijl men toch de schuif met de katrol naar verkiezing langs de staaf op en neêr kan schuiven, en dus de katrol op de verlangde hoogte kan plaatsen. In plaats van het gewigt P onmiddellijk aan de koord te bevestigen, hangt men daaraan bij voorkeur eene schaal, en plaatst dan daarin zooveel gewigt, dat de schaal met de gewigten te zamen zooveel weegt als het berekende gewigt P.

Dagelijks komt het hellende vlak in praktische toepassing. Iedere weg welke naar de hoogte leidt, is een hellend vlak, langs hetwelk lasten van beneden naar boven gevoerd worden; om b. v. eenen beladenen wagen over eenen schuinsch liggenden weg naar boven te voeren, moet er, behalve de kracht welke vereischt wordt om de wrijving te overwinnen, die eveneens ook bij eenen volstrekt horizontalen weg moet overwonnen worden, nog eene kracht worden aangewend, om evenwigt te maken met dat gedeelte der zwaartekracht hetwelk paralel met het hellende vlak werkt. Dit gedeelte nu is des te grooter, hoe steiler de weg is. Om deze rede leidt men bij steile bergen de wegen niet regtuit, en maakt men bij voorkeur groote omwegen, ten einde den weg met, minder steile bogten, naar den top te voeren. Bij allerhande soort van gebouwen is het vaak noodig, om de bouwstoffen langs hellende vlakken op te voeren, ja zelfs worden, uitsluitend met deze bedoeling, zoodanige hellingen opgeslagen. Deze toepassing der hellende vlakken was reeds in de grijze oudheid bekend; want hoogst waarschijnlijk maakten de Egyptenaren daarvan gebruik, tot het omhoogvoeren van die verbazende steenblokken, die zij tot het oprigten hunner pyramiden bezigden.

18 **De Schroef** is een hellend vlak om eenen cylinder gewonden.

Fig. 11.



Fig. 12.



In Fig. 12 zij $a\,b\,c$ een regthoekig stuk papier, waarvan de horizontale zijde $a\,b$ gelijk zij aan den omvang van den nevenstaanden cilinder. Wanneer het papier zoodanig om den cilinder

gerold wordt, dat *a b* den omtrek van de grondvlakte des cilinders vormt, dan zal zich de hypothenusa *a c* in eene gelijkvormig stijgende kromme lijn *o p q r* om den cilinder winden; wanneer het punt *a* op *o* valt, zal ook *b* met *o* zamenvallen, doch het punt *c* zal loodregt boven *o* in *r* komen te liggen. De kromme lijn *o p q r* welke in onze figuur naar denzelfden regel is voortgezet geworden, wordt een *schroefdraad* genoemd. De gedeelten van den schroefdraad welke op de achtervlakte van den cilinder vallen, zijn in de nevenstaande figuur wit geteekend. De afstand van *o* tot *r* is de *hoogte van eenen schroefgang.*

Denken wij ons langs den schroefdraad om den cilinder eenen driehoek geleid, welke de hoogte van eenen schroefgang heeft, dan wordt daardoor eene *scherpe* of *driehoekige schroef* gevormd, zoo als in Fig. 13 is afgebeeld; denkt men zich echter eenen vierhoek, wiens hoogte gewoonlijk de helft der hoogte van eenen schroefgang bedraagt, op dezelfde wijze om den cilinder gewonden, dan krijgt men eene *vlakke* of *vierhoekige schroef:* deze is in Fig. 14 voorgesteld.

Fig. 13.

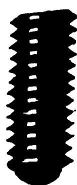


Fig. 14.



Wij hebben tot nu toe zulke schroeven beschouwd, welke om eenen vasten cilinder gelegd zijn; eene zoodanig gevormde schroef noemt men *vaarschroef;* maar wanneer de omwindingen op dezelfde wijze om eenen hollen cilinder gevoerd worden, dan krijgt men eene *schroefmoer.*

Tot het voortbewegen of opvoeren van eenen last kan men de vaarschroef alleen niet bezigen; maar zij moet met eene schroefmoer zoodanig verbonden zijn, dat de verhevenheden der eene naauwkeurig in de verdiepingen der andere passen. Denken wij ons de eerste loodregt vastgesteld, dan zal de schroefmoer bij iedere omdraaijing de hoogte van eenen schroefgang rijzen of dalen, dewijl de omwindingen van de moer over de omwindingen der schroef op en neder gaan als over een hellend vlak. Voor het opvoeren van eenen op de schroefmoer liggenden last door omdraaijing derzelve om de vaarschroef, gelden bijgevolg dezelfde regelen als voor een hellend vlak van gelijke hoogte. De omwindingen der schroef zijn des te minder steil, hoe geringer de hoogte van den schroefgang in vergelijking met den omvang des cilinders is.

De schroef wordt aangewend, deels tot het opheffen van zware lasten, deels tot het uitoefenen van groote drukking; de tegenstand, welken men te overwinnen heeft, is of aan de schroef, of aan de moer aangebragt. Bij de berekening van het uitwerksel eener schroef, moet men vooral letten op de wrijving, die hier eene belangrijke rol speelt, zoo als wij later nog zien zullen. Om de schroef krachtig te doen werken, laat men de kracht, waardoor de omdraaijing bewerkt wordt,

niet onmiddellijk aan den omtrek der schroef, maar aan eenen grooteren hefboom werken, zoo als men zulks bij alle schroefpersen kan zien.

19 **De Wig.** Een andere vorm, onder welken het hellende vlak wordt toegepast, is de wig. Zij wordt gebezigd tot het splijten van hout en steenen, Fig. 15. Door onder den kiel van de schepen wiggen te drijven, worden zij op de werven geheven; het uitpersen van de olie uit zaden wordt gewoonlijk bewerkstelligd door het indrijven van wiggen, enz. Al onze snijwerktuigen, messen, scharen, beitels enz. zijn niets anders dan wiggen. Dat de werking der wig inderdaad tot die van het hellende vlak terug te voeren is, kan men zoo gemakkelijk inzien, dat hiertoe wel geene verdere verklaring zal benoodigd zijn.

Fig. 15.

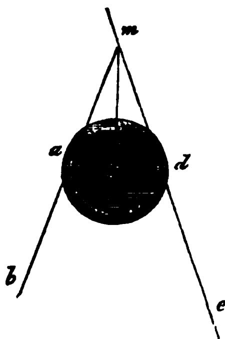


20 **De Katrol** is eene ronde, niet zeer dikke, aan den rand uitgeholde schijf, welke om eene door haar middelpunt gaande, en regthoekig op haar vlak staande as rondgedraaid kan worden; deze as wordt gewoonlijk gedragen aan eene schaar, wier armen zich aan beide zijde der katrol tot eenigzins boven haar midden uitstrekken.

Men onderscheidt *vaste* en *beweegbare* katrollen. Vaste katrollen zijn de zoodanige, wier as onbewegelijk is, zoodat er geene verplaatsing derzelve mogelijk is, maar enkel eene draaijing om hare as.

Wanneer er om een gedeelte van den omtrek eener katrol een koord of touw geslagen is, en er aan de beide einden daarvan krachten werken, zoo volgt er eerst dan evenwigt, als de kracht, welke de koord aan de eene zijde spant, gelijk is aan de kracht die aan de andere zijde werkt. Fig. 16 stelt eene om hare vaste as *c* beweegbare katrol voor; de om dezelve geslagene koord zij gespannen door krachten, welke in de rigtingen *a b* en *d e* werken. Denken wij ons de lijnen *d e* en *a b* tot aan haar snijdpunt *m* verlengd, dan is het duidelijk, dat, wanneer *m* een met de katrol vast verbonden punt ware, men, zonder iets in de werking te veranderen, de aanrakingspunten der beide krachten van uit *a* en *d* naar *m* zou kunnen overbrengen, en daardoor zou men twee op een punt *m* werkende krachten verkrijgen, die slechts dan in evenwigt kunnen zijn, wanneer zij met hare resulterende evenwigt maken. Wanneer de beide, in de rigtingen *m b* en *m e* werkende, krachten gelijk zijn, dan zal hare resulterende den hoek *b m e* door midden

Fig. 16.



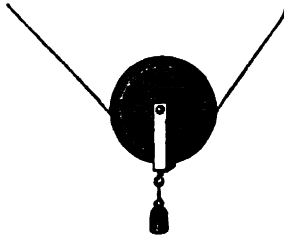
deelen, de rigting dezer resulterende gaat dan door het vaste middelpunt *c*, en dus volgt er evenwigt. Indien eene der beide krachten grooter dan de andere ware, dan zou hare resulterende niet meer door het vaste punt gaan, en er kon derhalve ook geen evenwigt bestaan.

De druk, welken de as van de katrol moet dragen, is natuurlijk gelijk aan de resulterende der beide krachten; en wanneer de rigtingen van beide krachten paralel zijn, zoo als in Fig. 17, dan is de drukking op de as gelijk aan de som der beide krachten (waarbij ook nog het gewigt der katrol zelve moet medegerekend worden *).

Fig. 17.



Fig. 18.



Ook bij eene bewegelijke katrol kan slechts dan evenwigt plaats vinden, wanneer de krachten, waardoor de beide einden van het touw gespannen worden, aan elkander gelijk zijn; want alleen in dit geval gaat hare resulterende door het middelpunt der schijf; de werking dezer resulterende kracht wordt hier evenwel niet opgeheven door de omstandigheid dat het middelpunt vast is; maar omdat er in het middelpunt, en wel in de rigting der resulterende, eene derde kracht werkzaam is, welke aan de resulterende gelijk en tegenovergesteld is. Deze derde kracht is gewoonlijk aangebragt aan eenen aan de armen bevestigden haak; in Fig. 18 is zij door middel van een gewigt daargesteld.

*) Men zou ons bij dit bewijs kunnen verwijten, dat wij hier in eenen cirkel redeneren, want boven, op pag. 19, werd er, tot proefondervindelijk bewijs voor de waarheid der stelling van het paralellogram der krachten, een toestel met katrollen gebezigd, en nu worden weder uit het paralellogram der krachten de voorwaarden van het evenwigt der katrol ontwikkeld; niettegenstaande zulks bij den eersten oogopslag zou kunnen schijnen, is dit evenwel niet het geval. Ofschoon wel de voorwaarden tot evenwigt tusschen alle aan eene katrol werkende krachten eerst door de leer van het paralellogram der krachten in haren geheelen zamenhang kunnen worden overzien, kan men toch reeds a priori begrijpen, zonder de leer van het paralellogram der krachten te kennen, dat het, wanneer er een touw om eene katrol geslagen is, ter verkrijging van het evenwigt noodzakelijk is, dat de krachten die aan de beide einden van het touw werken gelijk zijn; want elke der beide krachten tracht de katrol, onder overigens gelijke omstandigheden, naar hare zijde te trekken, en er kan dus slechts evenwigt volgen, wanneer deze beide krachten aan elkander gelijk zijn. Den meesten onzer lezers zal de zaak wel reeds zoo eenvoudig en natuurlijk voorkomen, dat zij, bij de op pag. 19 vermelde proeve er welligt niet eens aan gedacht zullen hebben, dat het noodig ware om te bewijzen, dat de beide uiteinden van een om eene katrol geslagen touw, bij het daarstellen van evenwigt inderdaad even strak gespannen zijn. Om deze rede is dit daar ter plaatse ook niet bewezen geworden, dewijl zulks zonder noodzaak de aandacht des lezers van de hoofdzaak zou hebben afgeleid.

Fig. 19.

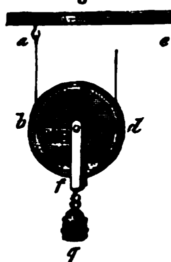
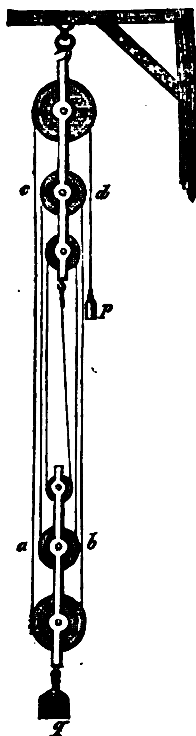


Fig. 20.



Wanneer de beide einden van het om de bewegelijke katrol geslagen touw paralel zijn, zoo als in Fig. 19, dan is het duidelijk, dat de kracht, met welke ieder uiteinde van het touw gespannen is, half zoo groot is als de last welke aan de schaar hangt.

Wanneer twee of meer katrollen met elkander verbonden zijn, en dus als het ware eene gemeenschappelijke schaar hebben, wordt zulk een zamenstel *takel* genoemd. Wanneer twee takels, van welke de een vast, de andere bewegelijk is, door een touw zoodanig verbonden zijn, dat dit bij afwisseling van eene vaste over eene bewegelijke katrol loopt, verkrijgt men een *takelgestel.*

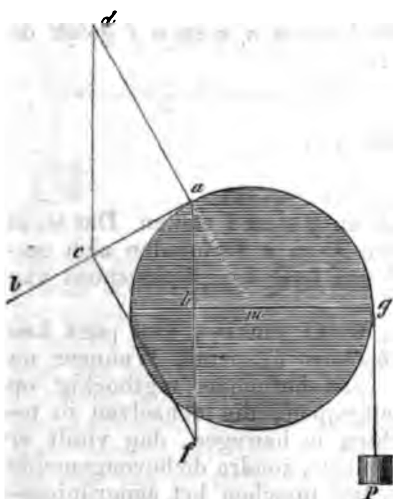
In Fig. 20 is een takelgestel afgebeeld, dat uit drie vaste en drie bewegelijke katrollen bestaat. De last *q* welke aan den gemeenschappelijken arm der drie bewegelijke katrollen hangt, wordt blijkbaar gedragen door de zes touwen, waardoor de bovenste en onderste katrollen met elkander verbonden zijn, de last is dus gelijkmatig over deze zes touwen verdeeld, en bijgevolg is ieder derzelve door $\frac{1}{6}$ van den last *q* gespannen; indien er b. v. een last van 60 ponden aan gehangen ware, dan zou elk van de zes touwen juist zoo sterk gespannen zijn, alsof het voor zich alleen eenen last van 10 ponden te dragen had.

Beschouwen wij nu het touw aan de linker zijde, hetwelk de onderste bewegelijke katrol met de bovenste vaste verbindt. Dit touw is over de bovenste vaste katrol geslagen en hangt ter regter zijde vrij naar beneden. Indien er nu evenwigt plaats vinden zal, dan moet het eind touw aan de regter zijde even sterk gespannen zijn als dat aan de linker zijde; het linker touw nu is, gelijk wij gezien hebben, door $\frac{1}{6}$ van den last *q* gespannen, en bij gevolg moet men, ter verkrijging van evenwigt, aan het einde van het touw *d* een gewigt hangen, hetwelk $\frac{1}{6}$ *q* bedraagt. Eenen last van 60 pond kan men derhalve bij een zoodanig takelgestel met eene kracht van 10 pond in evenwigt houden.

Naarmate men meer of minder katrollen bezigt, moet ook de last zich over meer of minder touwen verdeelen, en derhalve zal er dan eene andere verhouding van kracht en last bestaan, die echter steeds door dezelfde wijze van berekening kan worden gevonden.

De hefboom. Over eene katrol zij een touw geslagen, en aan 21
het eene einde daarvan een gewigt *p* gehangen, terwijl aan de andere zijde het touw in de rigting *a b* met eene aan het gewigt *p* gelijke kracht gespannen is. Deze in *a* aangrijpende, in de rigting *a b* werkende kracht nu, kan men, volgens de leer van het paralellogram der krachten, in twee zijdelingsche krachten ontbinden, van welke de eene in de rigting van *a* naar *d*, en dus in de verlenging van den straal *m a* werkt, terwijl de rigting *a f* van de andere zijdelingsche kracht paralel met *g p* is.

Fig. 21.

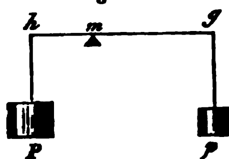


Wanneer wij eene onbewegelijke katrol voor hebben, gelijk zij hier door ons verondersteld is, dan wordt de uitwerking der kracht *a d* door den wederstand van het vaste middelpunt *m* opgeheven; men kan dus de naar *a d* werkende zijdelingsche kracht geheel en al weglaten, zonder het evenwigt te storen, en derhalve kan men onmiddellijk voor de in de rigting *a b* werkende kracht, hare naar *a f* werkende zijdelingsche kracht in de plaats stellen.

Indien wij door de lijn *a c* de naar *a b* werkende kracht voorstellen, dan stelt ons de lijn *a f* de grootte van de zijdelingsche kracht *P* voor, en zonder nu vooreerst de verhouding der grootte van *a c* tot *a f* of *p* tot *P* naauwkeurig te willen nagaan, kan men toch gemakkelijk begrijpen dat *P* grooter moet zijn dan *p*. Wij kunnen derhalve voor de in de rigting *a b* werkende kracht *p*, eene andere, eveneens in *a* aangrijpende, doch in verticale rigting werkende, grootere kracht *P* in de plaats stellen, zonder het evenwigt te storen.

In plaats dat wij de kracht *P* in *a* laten aangrijpen, kan men, zonder het evenwigt te storen, haar aangrijpingspunt naar verkiezing in ieder punt van de lijn *a f* overplaatsen, wij kunnen dus de kracht *P* ook laten aangrijpen in het punt *h*, dat op de snijding van de lijn *a f* met den verlengden diameter *g m* ligt, en bijgevolg verkrijgen wij twee krachten *p* en *P*, welke aan de einden van eene om *m*, Fig. 22, beweegbare regte lijn *h g*, werken en regthoekig in *h g* aangrijpen en elkander in evenwigt houden. Deze beide krachten zijn ongelijk, maar hare aangrijpingspunten *h* en *g* liggen ook op ongelijken afstand van het beweegpunt *m*.

Fig. 22.



Nu moeten wij de verhouding nagaan, welke er bestaat tusschen de grootte der krachten p en P en de lengte $h\ m$ en $g\ m$.

De driehoeken $c\ a\ f$, Fig. 21 en $a\ h\ m$ zijn gelijkvormig, en hieruit volgt:

$$a\ c : a\ f = h\ m : a\ m.$$

Nu verhouden zich echter de lengten $a\ c$ en $a\ f$ gelijk de krachten p en P, wij hebben dus

$$p : P = h\ m : a\ m$$

en daar $a\ m = g\ m$,

$$p : P = h\ m : g\ m$$

of

$$p : P = L : l \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1),$$

wanneer wij de lengte $h\ m = L$ en $g\ m = l$ stellen. Dat is, in woorden uitgedrukt, de krachten P en p verhouden zich omgekeerd gelijk aan den afstand van haar aangrijpingspunt van het beweegpunt m.

Eene regte onbuigzame lijn, welke om een vast punt kan worden bewogen, wordt een *hefboom* genoemd. Wanneer nu op twee verschillende punten eens hefbooms regthoekig op zijne rigting twee krachten aangrijpen, die denzelven in tegenovergestelde rigtingen trachten te bewegen, dan vindt er evenwigt tusschen die krachten plaats, zoodra de bovengemelde voorwaarde vervuld is. De afstand tusschen het aangrijpingspunt eener kracht en het beweegpunt draagt den naam van *hefboomsarm*, en wij kunnen dus de voorwaarden van het evenwigt des hefbooms ook op de volgende wijze uitdrukken: Twee krachten, welke den hefboom naar tegenovergestelde zijden trachten te bewegen, houden elkander in evenwigt, wanneer zij omgekeerd evenredig zijn aan hare hefboomsarmen.

Ware b. v. de arm des hefbooms $h\ m$ in Fig. 22 half zoo groot als $g\ m$, dan zou P eens zoo groot moeten zijn als p. Eene kracht p kan aan eenen hefboom eene 100voudige kracht P in evenwigt houden, wanneer slechts de hefboomsarm $m\ g$ ook 100 maal grooter is dan de hefboomsarm $h\ m$.

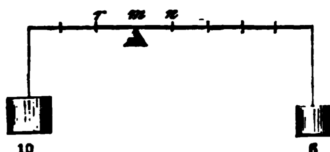
Uit de evenredigheid bij 1) volgt $PL = p\ l$, d. i. wanneer twee krachten aan den hefboom in evenwigt zullen zijn, dan moet het product, hetwelk men verkrijgt door de vermenigvuldiging van de kracht met haren hefboomsarm, voor beide krachten gelijk zijn. Ware b. v. de eene kracht $p = 6$ looden, haar hefboomsarm 12″, dan zou men, om met deze kracht evenwigt te maken, aan de andere zijde aan eenen driemaal kleineren hefboomsarm, $\frac{12}{3}$ of 4″, eene driemaal grootere kracht, $3 \times 6 = 18$, lood moeten laten werken; ongetwijfeld toch is het product 6×12 gelijk aan dat van 4×18.

Het product, hetwelk men verkrijgt door eene aan den hefboom werkende kracht met haren hefboomsarm te vermenigvuldigen, wordt het *statische moment* der kracht genoemd. Men zou ook kunnen zeggen, het *statische moment* eener kracht is *die kracht,* welke men in hare plaats aan den hefboomsarm

moet aanbrengen, zonder dat door deze verwisseling het evenwigt verbroken worde.

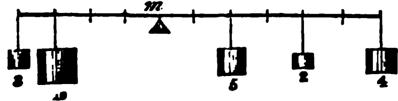
In Fig. 23 zij de kracht regts = 6, haar hefboomsarm = 5, dan is het statische moment van deze kracht gelijk 5 × 6 = 30; indien de kracht ter linkerzijde haar in evenwigt zal kunnen houden, moet het statische moment van beide gelijk zijn; derhalve moet de aan den hefboomsarm 3 ter linkerzijde werkende kracht de waarde van 10 hebben. Evenwel kan men, zonder het evenwigt te verbreken, in plaats van de kracht 6 aan den hefboomsarm 5 te laten werken, eene kracht 30 in het punt *n*, dus aan hefboomsarm 1 aanbrengen. De kracht 10 die aan de andere zijde aan den hefboomsarm 3 werkt, kan men eveneens door eene in het punt *r*, en dus ook aan hefboomsarm 1 werkende kracht 30 vervangen.

Fig. 23.



Indien aan iedere zijde van het steunpunt niet eene, maar onderscheidene krachten werken, dan volgt er evenwigt, wanneer de som der statische momenten der eene zijde gelijk is aan de som van de statische momenten der andere zijde. In Fig. 24 zij b. v. *m* het steunpunt; aan de eene zijde werke aan den hefboomsarm 2 de kracht 5, aan hefboomsarm 4 de kracht 2, aan hefboomsarm 6 de kracht 4; aan de andere zijde echter de krachten 10 en 3 aan de hefboomsarmen 3 en 4, dan zal er evenwigt zijn tusschen alle deze krachten, want de som der statische momenten is aan beide zijden gelijk.

Fig. 24.

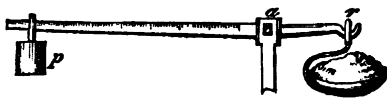


De som der statische momenten ter eene zijde is 5. 2 + 2. 4 + 4. 6 = 42; de som der statische momenten ter andere zijde echter is 10. 3 + 3. 4, dus eveneens 42. In de plaats van kracht 5, welke op den afstand 2 van den hefboomsarm aangrijpt, zou men eene kracht 10 op den afstand van hefboomsarm 1 kunnen aanbrengen; eveneens kan men de op de afstanden 4 en 6 werkende krachten 2 en 4 door twee andere aan den hefboomsarm 1 aangrijpende krachten 8 en 24 vervangen. In de plaats van de drie op de afstanden 2, 4 en 6 werkende krachten 5, 2 en 4 kan men dus de drie op den afstand 1 werkende krachten 10, 8 en 24 stellen, of met andere woorden, men kan de drie aan onderscheidene hefboomsarmen aangrijpende krachten, 5, 2, 4, door eene enkele aan hefboomsarm 1 aangrijpende kracht 42 vervangen. Eveneens kan men echter de aan de andere zijde op de afstanden 3 en 4 aangrijpende krachten 10 en 3 door twee andere aan den hefboomsarm 1 werkende krachten 30 en 12, of door eene enkele aan den hefboomsarm 1 werkende kracht 42 vervangen; de som

der statische momenten is aan beide zijden gelijk, en er moet dus evenwigt plaats vinden.

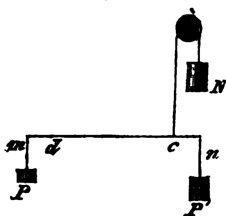
De gewone unster geeft ons een zeer geschikt voorbeeld van de toepassing des tweearmigen hefbooms. Fig. 26 moge dienen, om den grond, waarop het gebruik van den unster berust, duidelijk te maken. Een tweearmige hefboom zij in *a* beweegbaar, in *r* is eene schaal opgehangen, welke den last bevat, en derhalve aan den hefboomsarm *a r* werkt; deze last nu wordt in evenwigt gehouden door een aan den anderen arm des hefbooms hangend gewigt. Hoe grooter de last wordt, des te meer moet het gewigt *p* van het beweegpunt *a* verwijderd worden.

Fig. 25.



Bij eenen zoodanigen hefboom als wij tot nu toe beschouwd hebben, moet het vaste beweegpunt eene drukking wederstaan, welke gelijk is aan de som der aan beide zijden werkende krachten; dus kan zulk een hefboom ook in rust zijn, wanneer dit middelste punt niet vast is, maar indien daarop eene kracht werkt, die gelijk is aan de som der beide andere krachten, maar in tegenovergestelde rigting werkt. Door Fig. 26 zal zulks duidelijk worden. Stellen wij, dat *c* het vaste beweegpunt zij van den hefboom *m n*, aan wiens einden de krachten *P* en *P'* aangrijpen en elkander in evenwigt houden. Dit evenwigt wordt nu niet gestoord, wanneer het punt *c* ophoudt vast te zijn, maar er daarentegen in dit punt eene kracht *N* aangebragt wordt, welke gelijk is aan de som van *P* en *P'*, doch naar boven werkt, terwijl de krachten *P* en *P'* naar beneden werken.

Fig. 26.



Zonder het evenwigt te verbreken, kan men elk van de drie punten *m*, *c* en *n* als vast beschouwen: wanneer slechts een van de beide uiterste punten, b. v. *n* vast is, krijgen wij eenen éénarmigen hefboom, d. i. eenen zoodanigen, bij welken de aangrijpingspunten der beide elkander in evenwigt houdende krachten *N* en *P* aan dezelfde zijde van het vaste beweegpunt *n* liggen. De beide krachten hebben in dit geval eene tegenovergestelde rigting, en de druk op het rustpunt is gelijk aan het onderscheid der beide krachten *P* en *N*. De hefboomsarm der kracht *P* is $l + l'$, wanneer men door l de lengte *m c*, door l' de lengte *n c* verstaat; de hefboomsarm der kracht *N* echter is l'. Ware *c* het vaste beweegpunt geweest, dan had men ingevolge het bovenstaande als voorwaarde van het evenwigt

$$P' : P = l : l'$$

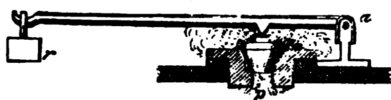
en daaruit volgt $P' + P : P = l + l' : l'$

of $N : P = l + l' : l'$,

wanneer dus de aan den éénarmigen hefboom in tegenovergestelde rigtingen werkende krachten N en P elkander in evenwigt zullen houden, dan moeten zij zich eveneens *omgekeerd evenredig verhouden tot hare hefboomsarmen.*

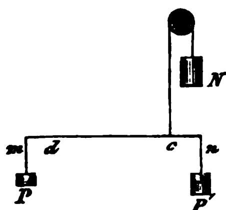
In Fig. 27 zien wij de toepassing van den éénarmigen hefboom. De klep *d*, welke b. v. de opening eener stoomketel sluit, wordt door de drukking van den stoom naar boven gedrukt; doch deze drukking wordt door de veel kleinere naar beneden werkende kracht van het gewigt *r* in evenwigt gehouden, omdat *r* aan eenen ongelijk veel grooteren hefboomsarm werkt, dan de drukking welke op de onderste vlakte van de klep werkt.

Fig. 27.



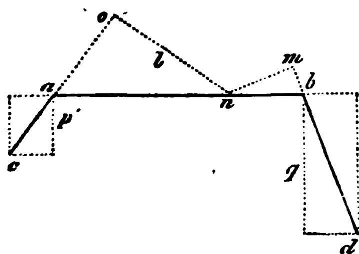
Ook kunnen de beide eindpunten *m* en *n* van de staaf *mn* onbewegelijk zijn, terwijl in *c* eene kracht N werkt; doch dan moet het punt *m* eene drukking P, het punt *n* eene drukking P' dragen. Wanneer een aan eenen staak hangende last gedragen wordt door twee lieden, van welke ieder een der uiteinden op den schouder draagt, dan moeten zij zamen den geheelen last dragen, en wanneer de last juist in het midden valt, draagt ieder de helft van den last; wordt echter de last nader bij den eenen dan bij den anderen geschoven, dan heeft de eerste het grootste gedeelte te dragen. Gesteld, de opgehangen last bedrage 100 ponden, de geheele staak zij 5 voeten lang, en de last hange 2 voet van het eene, en 3 voet van het andere einde van den staak verwijderd, dan moet de schouder van den eenen drager eenen last van 60 ponden, die van den anderen eenen last van 40 ponden dragen.

Fig. 28.



Wij hebben tot nu toe slechts de gevallen beschouwd, waarin de krachten regthoekig op den hefboom werkten, maar er kan ook evenwigt plaats vinden, zonder dat zulks het geval is. In Fig. 29 zij *n* het rustpunt van den hefboom *a b*, in *a* werke eene kracht *p* in de rigting *a c*, in *b* eene andere *q* in de rigting *b d*. De krachten *p* en *q* worden gesteld zich te verhouden als de lijnen *a c* en *b d*. Volgens het paralellogram der krachten kan *p* herleid worden in twee krachten, van welke de eene *p'* regthoekig op *a b*, de andere in de rigting van *a b* werkt. Eveneens kan men de kracht q herleiden

Fig. 29.



in twee krachten, waarvan de eene q' regthoekig op $a\,b$, en de andere in de rigting van $a\,b$ werkt. Het uitwerksel der beide zijdelingsche krachten, die in de rigting der lijn $a\,b$ gelegen zijn, wordt natuurlijk door den wederstand van het vaste punt n geheel en al opgeheven, en dus blijft slechts het uitwerksel van p' en q' over. In de plaats der oorspronkelijke krachten p en q kan men derhalve hare regthoekig aangrijpende zijdelingsche krachten p' en q' stellen. Er zal evenwel evenwigt moeten zijn, wanneer p' en q' zich omgekeerd evenredig tot hare hefboomsarmen verhouden, d. i. wanneer

$$p' : q' = n\,b \,.\, n\,a$$

of wanneer

$$q' \times nb = p' \times na.$$

Verlengt men de rigting der kracht p, om op hare verlenging van uit n de loodlijn $n\,o = l$ te trekken, dan ontstaat er een driehoek $a\ o\ n$, welke gelijkvormig is aan dien driehoek, waarvan p de hypothenusa en p' eene der regthoekzijden is. Uit de gelijkvormigheid van deze driehoeken volgt

$$p : p' = an : l$$

en hieruit

$$p \times l = p' \times an.$$

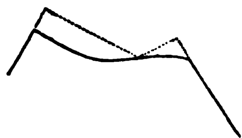
De aan den hefboomsarm $a\,n$ schuins aangrijpende kracht p werkt derhalve even zoo als de in hetzelfde punt a aangrijpende zijdelingsche kracht p'; en ook zoo, alsof de kracht p zelve regthoekig op eenen kleineren hefboomsarm werkte, dien men verkrijgt, wanneer men van uit het beweegpunt n eene loodlijn op de rigting der kracht laat vallen.

Het moment eener schuins ingrijpende kracht vindt men derhalve, door vermenigvuldiging van de kracht met de van het beweegpunt op de rigting der kracht getrokkene loodlijn.

Diensvolgens werkt de schuins aangrijpende kracht q juist zoo, alsof zij regthoekig op den hefboomsarm $n\,m$ aangreep, en de beide krachten p en q houden zich in evenwigt, wanneer $p \times o\,n - q \times n\,m$.

Op de boven voorgestelde manier vindt men ook de momenten der krachten, zoo de hefboom niet meer eene regte lijn is.

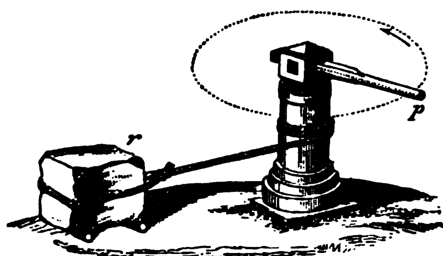
Fig. 30.



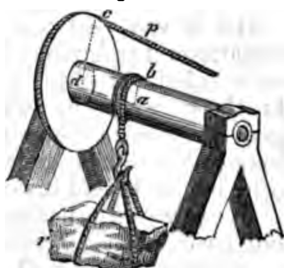
Wanneer een of ander werktuig om eene vaste as beweegbaar is, dan werken de krachten welke het om de as trachten te bewegen, volkomen volgens de wetten van den hefboom. Daarom vindt men deze wetten toegepast bij al die werktuigen, welke tot een meer of minder zamengesteld stelsel van hefboomen kunnen herleid worden. Bij het windas en den kaapstander b. v. (Fig. 31 en 32) verhoudt zich de last r tot de haar tegenwerkende kracht p omgekeerd van hare hefbooms-

armen, d. i. omgekeerd van de halve diameters *a b* en *c d*. Wan-

Fig. 31.



Eig. 32.

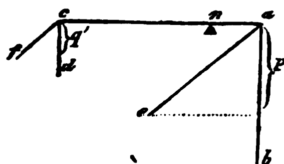


neer b. v. de halve middellijn *a b* van de spil viermaal kleiner is dan de halve middellijn van het rad *c d*, dan kan met eene kracht van 25 pond een last van 100 ponden in evenwigt worden gehouden.

De kaapstander (Fig. 31) onderscheidt zich van het windas enkel daardoor, dat de spil loodregt staat; men behoeft in *p* slechts eene betrekkelijke geringe kracht aan te wenden, om den last *r* in beweging te brengen.

Wanneer twee evenwijdige regthoekig werkende krachten aan eenen hefboom elkander in evenwigt houden, dan wordt het evenwigt niet verbroken, wanneer men die krachten in gelijke verhouding vergroot of verkleint. Evenmin wordt het evenwigt verbroken, wanneer de rigting der beide krachten wel veranderd wordt, doch zoodanig, dat zij toch paralel blijven. Wanneer b. v. de krachten $a\,b = p$ en $c\,d = q$ (Fig. 33) aan den hefboom *a c* elkander in evenwigt houden, dan bestaat dit evenwigt ook nog, wanneer men deze krachten in de aan elkander evenwijdige rigtingen *a e* en *c f* laat werken, want de schuins werkende kracht *p* werkt gelijk hare regthoekige composante *p'*, en de schuins werkende *q* gelijk de regthoekig aangrijpende *q'*; *p'* en *q'* houden elkander echter stellig wel in evenwigt, wanneer dit tusschen de krachten *p* en *q* bij regthoekige aangrijping bestond.

Fig. 33.



Zwaartepunt. Een ligchaam dat zwaarte bezit, hoe groot of hoe 22
klein het ook zijn moge, kan beschouwd worden als een oneindig aantal stoffelijke punten, op welke de zwaartekracht werkt.

Al deze krachten, ofschoon oneindig in getal, kunnen worden vervangen door eene enkele kracht, welke in een bepaald punt aangrijpt. Deze enkele kracht, welke niets anders is dan de som of de resulterende van alle afzonderlijke uitwerkselen der zwaarte, noemt men het *gewigt* van het ligchaam, en het aangrijpingspunt dezer resulterende is deszelfs *zwaartepunt*.

Deze bepaling is reeds voldoende, ter onderscheiding van zwaarte en gewigt. De zwaarte is de grondkracht welke op alle

stofdeelen in het algemeen werkt, terwijl het gewigt eens ligchaams bestaat in de som der uitwerkselen, welke de zwaarte op dit ligchaam in het bijzonder uitoefent.

Het is van veel belang, om het gewigt der ligchamen en hun zwaartepunt te kunnen bepalen, omdat men dan het gewigt, d. i. eene enkele kracht, in de plaats kan stellen van al de grondkrachten, welke op het ligchaam inwerken. Men kan diensvolgens eene massa die zwaarte bezit, hoedanig ook hare grootte en hare gedaante zijn moge, als een enkel punt beschouwen, waarop eene enkele kracht inwerkt.

In een zwaarte bezittend ligchaam, dat niet ten minste eenige honderde ellen uitgebreidheid bezit, kan men de rigting der zwaartekracht voor alle stofdeelen als volkomen evenwijdig beschouwen, zij is echter ook voor alle stofdeelen gelijk, omdat al die deelen in de ledige ruimte even snel vallen. Het *zwaartepunt* is bijgevolg niets anders dan het *middelpunt van evenwijdige gelijke krachten.* Daaruit volgen de kenmerkende eigenschappen van het zwaartepunt, hetwelk een bepaald punt is, welks ligging niet veranderd wordt bij verandering van den stand des ligchaams tot de zwaarte.

Dat in ieder vast ligchaam zulk een zwaartepunt moet bestaan, laat zich afleiden uit de wetten der werking van evenwijdige krachten. Wanneer eene regte onbuigzame lijn *a b* (Fig. 34) in haar midden ondersteund en aan beide uiteinden met gelijke gewigten bezwaard is, dan moet er evenwigt zijn, hoedanig men de lijn ook om het aangrijpingspunt der middelste kracht draaijen moge; er bestaat even zoowel evenwigt bij de plaatsing *a b* als bij de plaatsing *a′ b′*. Stellen wij ons de punten *a* en *b* voor als twee zwaarte bezittende, door de vaste, gewigtlooze lijn *a b* verbonden moleculen, dan is het duidelijk, dat er evenwigt zou moeten plaats grijpen, zoodra slechts het punt *c* ondersteund was, hoedanig ook de plaatsing van de lijn *a b* zijn mogt. Het punt *c* was hier niets anders dan het zwaartepunt van het uit twee moleculen bestaande ligchaam. Zonder het evenwigt te verbreken, kan men zich de uitwerkselen van de zwaartekracht der beide moleculen in *c* vereenigd denken.

Fig. 34.

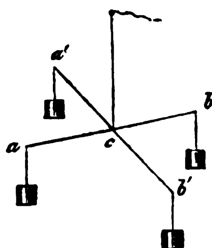
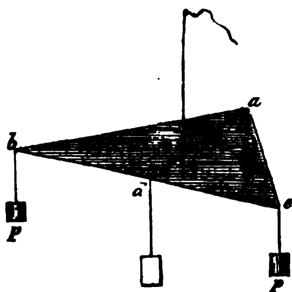


Fig. 35.



Wanneer er aan de drie hoekpunten van eenen onbuigzamen driehoek *a b c* (Fig. 35) drie gelijke en evenwijdige krachten werken, dan is

het gemakkelijk, om het aangrijpingspunt harer resulterende te bepalen. Zonder het evenwigt te verbreken, kan men de beide in *b* en *c* werkende krachten in het midden *d* der lijn *b c* vereenigen, en dus is dan de werking der drie krachten teruggebragt tot die van twee, welke op de punten *a* en *d* aangrijpen. Zoo men daarna de lijn *a d* door het punt *m* zoodanig in tweeën deelt, dat *a m* eens zoo groot is als *d m*, dan moet er tusschen de in *d* en *a* werkende paralelle krachten 2 *p* en *p* noodzakelijk evenwigt plaats grijpen, wanneer slechts het punt *m* ondersteund is, hoedanig overigens ook de rigting van de lijn *a d* zijn moge. Doch dewijl de in *d* werkende kracht enkel de resulterende van de in *b* en *c* werkende evenwijdige krachten is, kan men, zonder overigens iets te veranderen, ook deze zelve weder in de plaats van hare resulterende stellen, en bij gevolg is het duidelijk, dat er tusschen de drie evenwijdige, in *a*, *b* en *c* aangrijpende, krachten noodwendig evenwigt bestaan moet, wanneer het punt *m* ondersteund is, of wanneer men in *m* eene kracht in tegenovergestelde rigting laat werken, welke gelijk is aan 3 *p*, op hoedanige wijze ook overigens de driehoek geplaatst zij.

Stellen wij, dat de punten *a*, *b* en *c* drie zwaarte bezittende moleculen zijn, die steeds gedwongen zijn om onveranderlijk tegenover elkander geplaatst te blijven, dan werkt de zwaartekracht dezer moleculen even zoo, als de vroeger in *a*, *b* en *c* opgehangen gewigten, en het lijdt geene tegenspraak, dat het uit drie moleculen bestaande ligchaam in evenwigt zijn zal, zoodra slechts het zwaartepunt *m* ondersteund is.

Op denzelfden grond echter waarop men aantoonen kan, dat 2 en 3 zwaarte bezittende vast verbonden moleculen een zwaartepunt moeten bezitten, kan men ook aantoonen, dat 4, 5, 6 enz. vast verbonden moleculen een zoodanig zwaartepunt moeten hebben, en dat eindelijk ieder vast ligchaam een zwaartepunt zal moeten bezitten, hoe groot ook het aantal der moleculen zij, waaruit het bestaat.

Om een zwaarte bezittend ligchaam in evenwigt te doen zijn, behoeft slechts eene enkele voorwaarde vervuld te zijn, namelijk, dat zijn zwaartepunt ondersteund is. Wanneer dus het zwaartepunt eens ligchaams zelf onbewegelijk is, dan mag men het ligchaam bewegen gelijk men verkiest, toch zal het immer in evenwigt zijn. Men kan de proef nemen met eene homogene schijf, welke men om eene horizontale vaste as beweegt, die door het zwaartepunt van de schijf gaat. Indien een ligchaam ondersteund is op een punt hetwelk niet met het zwaartepunt zamenvalt, dan is er ook nog wel evenwigt mogelijk, evenwel niet bij alle plaatsingen van het ligchaam, maar slechts bij eenige bijzondere standen, wanneer namelijk het zwaartepunt loodregt boven of onder het steunpunt ligt. Deze proef is eveneens gemakkelijk met eene schijf te nemen.

Uit deze beschouwingen kunnen wij eene methode afleiden,

om bij wijze van proeve het zwaartepunt der ligchamen te vinden. Men hange het ligchaam op aan een punt *a* (Fig. 36), dan zal het verlengde van den draad, welke het ligchaam draagt, in het punt *c* uit het ligchaam treden. Het zwaartepunt moet noodwendig gelegen zijn in de lijn *a c*. Hangt men nu het ligchaam in een tweede punt *b* (Fig. 37), dan moet het zwaartepunt andermaal in het verlengde van den draad, derhalve in de lijn *b d* liggen Het zwaartepunt is dus gelegen in het snijpunt der lijnen *b d* en *a c*. Het zwaartepunt van homogene vlakke schijven kan men volgens deze methode gemakkelijk bepalen; bij andere ligchamen valt het echter moeijelijker, om de verlenging van den draad door het binnenste dier ligchamen met juistheid na te gaan.

Fig. 36.

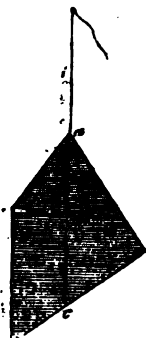
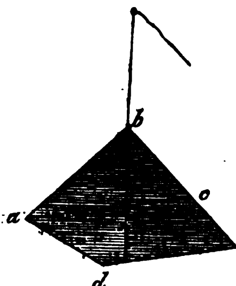


Fig. 37.

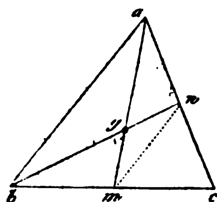


Het zwaartepunt van gelijksoortige ligchamen van regelmatige gedaanten kan men door eenvoudige beschouwingen vinden.

Het zwaartepunt eener *regte lijn* is natuurlijk in het midden van hare lengte gelegen.

Het zwaartepunt van eenen homogenen *driehoek* (Fig. 38) vindt men, door van uit de twee hoekpunten van denzelven naar het midden der tegenovergestelde zijden regte lijnen te trekken. Het snijpunt *g* van deze twee lijnen is het zwaartepunt. De waarheid hiervan is gemakkelijk in te zien. Het punt *m* is het zwaartepunt van de regte lijn *b c*; denkt men zich in den driehoek eene regte lijn evenwijdig met *b c* getrokken, dan wordt deze natuurlijk door *a m* door midden gedeeld; op de lijn *a m* liggen dus de zwaartepunten van al de in den driehoek evenwijdig aan *b c* getrokkene lijnen; *a m* is derhalve, om ons zoo uit te drukken, de zwaartelijn van den driehoek, en ongetwijfeld moet het zwaartepunt des driehoeks in *a m* gelegen zijn. Deze zelfde sluitrede is echter op de lijn *a b* van toepassing. Het punt *g* is zoodanig gelegen, dat $g\,m = \frac{1}{3}\,a\,m$ en $g\,n = \frac{1}{3}\,b\,n$ is. Om dit te bewijzen trekke men de lijn *m n*, dan is blijkbaar $m\,n = \frac{1}{2}\,b\,a$. De driehoeken *g m n* en *g a b* zijn evenwel gelijkvormig, en daaruit volgt, dat $g\,m : g\,a = m\,n : b\,a$, dat dus $g\,m = \frac{1}{2}\,a\,g$.

Fig. 38.



Het zwaartepunt eens veelhoeks (Fig. 39) wordt gevonden, wanneer men dien tot driehoeken herleidt, en het zwaartepunt van ieder van deze bepaalt. Aangezien nu de in de zwaarte-

Fig. 39.

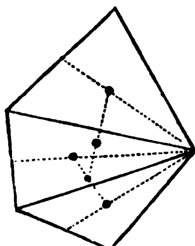


Fig. 40.

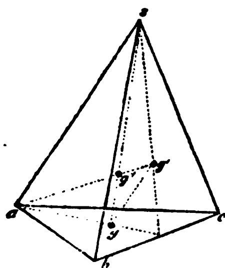
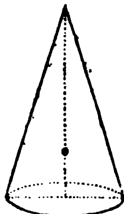


Fig. 41.



punten dezer driehoeken aangrijpende krachten evenredig zijn aan den vlakte-inhoud der driehoeken, behoeft men slechts, volgens de bekende regelen, de resulterende van deze krachten te zoeken.

Het zwaartepunt van eene driezijdige piramide (Fig. 40) kan men vinden, wanneer men van uit de hoekpunten *s* en *a* lijnen trekt naar de zwaartepunten *g* en *g'* van de tegenoverstaande driehoeken. Het snijpunt *g''* van deze beide lijnen is het zwaartepunt. Het valt gemakkelijk te bewijzen, dat $gg'' = \frac{1}{4} gs$ is.

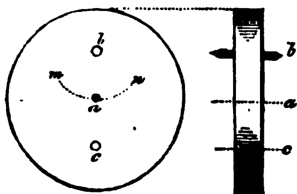
Het zwaartepunt van eenen kegel (Fig. 41) met cirkelvormige basis ligt in de regte lijn, welke van den top naar het middelpunt van de basis kan getrokken worden, en wel is het zwaartepunt op den afstand van $\frac{1}{4}$ dier lijn van de basis verwijderd.

Het zwaartepunt van een regelmatig prisma, van een cilinder en van eenen kogel valt met het geometrische middelpunt derzelve zamen.

Over het evenwigt. Wij hebben reeds gezien dat de eenige voorwaarde tot daarstelling van evenwigt van vaste ligchamen deze is, dat hun zwaartepunt ondersteund zij. Aan deze voorwaarde echter kan op onderscheidene wijzen voldaan zijn, naarmate de ligchamen aan vaste punten opgehangen zijn of op steunpunten rusten. 23

Denken wij ons door eene gelijkaardige schijf (Fig. 42.) drie gaten *a*, *b* en *c* geboord: en *a* zij gelegen in het zwaartepunt der schijf. Deze zal bij alle standen in evenwigt zijn, ingeval er eene onbewegelijke as door het middelste gat *a* gaat. In dit geval heeft men een onveranderlijk (indifferent) evenwigt. Wanneer de as door het bovenste gat *b* gaat, dan is het evenwigt standvastig (stabiel), omdat de schijf, uit deze plaatsing in eene andere gebragt zijnde, altijd daarin tracht terug te keeren. Draait men de schijf slechts eenigzins om de as *b* ter regter of ter linker zijde, dan wordt namelijk het zwaartepunt op den boog *m n* naar de regter of linker zijde verplaatst; het is niet meer ondersteund, dewijl het niet meer loodregt onder *b* ligt, en de op hetzelve inwerkende zwaartekracht voert het weder naar den evenwigts-

Fig. 42.

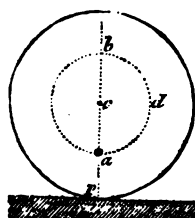


stand terug. Indien de as gaat door het middelste gat *c*, dan volgt er ook nog wel evenwigt, maar een oogenblikkelijk (labiel) evenwigt, want zoodra het zwaartepunt slechts in het minste buiten de door *c* gaande loodlijn gevoerd wordt, keert het niet terug, maar het beschrijft eenen halven cirkel, totdat het aankomt in een punt hetwelk loodregt beneden het punt *c* is gelegen.

Deze resultaten kan men in algemeene bewoordingen op de navolgende wijze uitdrukken: Een ligchaam aan eene as opgehangen kan zich in *standvastig* (stabiel), *oogenblikkelijk* (labiel), of *onveranderlijk* (indifferent) evenwigt bevinden, al naarmate zijn zwaartepunt *onder*, *boven* of *in* de as gelegen is.

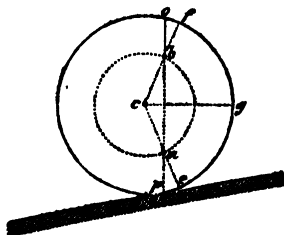
Laat ons nu onderzoeken, wat er gebeurt, wanneer eene schijf op een horizontaal of op een hellend vlak geplaatst wordt. Stellen wij dat de schijf, hetzij van hout, lood of iets anders, zoodanig vervaardigd zij, dat zijn zwaartepunt in den cirkel *a b d* (Fig. 43) op behoorlijken afstand van het middelpunt te liggen komt. Hier kan slechts een standvastig of een oogenblikkelijk evenwigt bestaan; het stabiele evenwigt volgt, wanneer het zwaartepunt het diepst gelegene punt *a* van den cirkel *a b d* inneemt. Is het zwaartepunt in het hoogste punt *b* van dezen kring, dan hebben wij het geval van een labiel evenwigt.

Fig. 43.



Wanneer zulk eene schijf op een hellend vlak (Fig. 44) geplaatst wordt, dan volgt er evenwigt, wanneer het zwaartepunt ligt op het verticale vlak *p b*, hetwelk men door de raaklijn kan trekken; stabiliteit van het evenwigt volgt er, wanneer het zwaartepunt in het meest naar onder gelegene punt *a* te liggen komt; labiel evenwigt, wanneer het zich in het hoogste punt *b* bevindt.

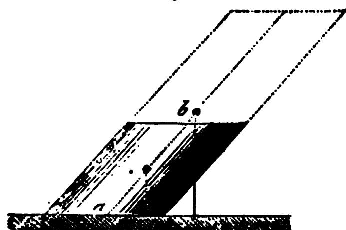
Fig. 44.



Stellen wij, dat de schijf zich bevond in den stand van het labiele evenwigt, en slechts een weinig naar de regterzijde werd voortbewogen, dan zal de schijf langs het hellend vlak naar boven stijgen, totdat de voorwaarde van het stabiele evenwigt weder vervuld is. Gedurende dit schijnbare opklimmen daalt het zwaartepunt echter onophoudelijk naar lager gelegene punten.

Wanneer een ligchaam met eene meer of min breede basis op den grond rust, dan moet de loodlijn, welke door zijn zwaartepunt is getrokken geworden, binnen de basis vallen, opdat het ligchaam in evenwigt zij. Dienvolgens moet de schuinsche cilinder (Fig. 45) in evenwigt zijn, wanneer hij slechts de in de figuur voorgestelde lengte heeft, doch hij zou omvallen, wanneer hij eene *zoodanige* lengte had, dat zijn zwaartepunt in *b* te liggen kwam.

Fig. 45.



Een ligchaam staat des te vaster, hoe breeder zijne basis is, en hoe minder hoog zijn zwaartepunt boven deze basis gelegen is. Een viervoetig dier staat vast, wanneer het zwaartepunt van zijn geheele ligchaam te liggen komt boven den vierhoek, die op den grond door zijne vier voeten wordt beschreven. Wanneer de mensch een zijner arm opligt, dan wordt het zwaartepunt zijns ligchaams verplaatst; wanneer een vogel zijnen hals naar voren strekt, dan wordt zijn zwaartepunt aanmerkelijk naar voren verplaatst. Een mensch die eenen last draagt, moet zijne houding inrigten naar de wijzé waarop hij dien draagt. Ingeval hij den last op zijnen rug draagt (Fig. 46) moet hij zich vooroverbuigen, draagt hij denzelven in de linker hand (Fig. 47), dan moet hij

Fig. 46.



Fig. 47.



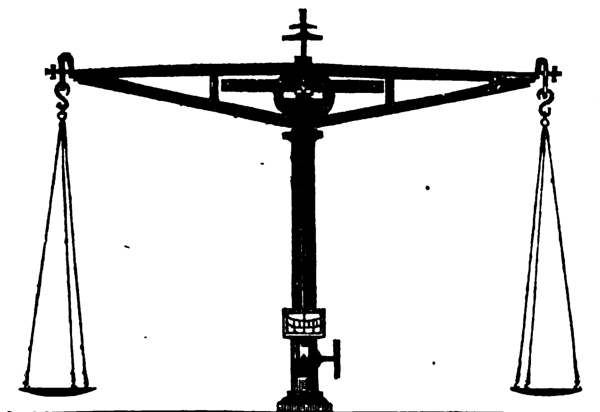
zijn bovenlijf regts over doen hellen, omdat anders het gemeenschappelijk zwaartepunt van zijn ligchaam en van den last, welken hij torscht, buiten de verbindingslijn der voeten zou komen, en hij derhalve zou vallen.

De Balans. De gewone balans is in wezenlijkheid niets anders 24
dan eene staaf of balk, welke bewegelijk is om eene loodregte vaste as, die zich in het midden harer lengte bevindt. Indien zij aan de uiteinden niet belast is, dan is de balans in eenen volkomen horizontalen stand. Aan beide zijden van de balans hangen weegschalen, ter opname van de te wegen voorwerpen en der gewigten bestemd. Zijn de beide schalen gelijkelijk belast, dan zal de balans haren horizontalen stand blijven behouden, doch zoodra men in eene der schalen eenig overwigt aanbrengt, daalt deze aan die zijde.

Wij willen nu onderzoeken, door welke inrigting wij aan de vermelde vereischten kunnen voldoen. Denken wij vooreerst de

weegschalen nog weg, en stellen wij, dat de horizontale as door het zwaartepunt van de balans ga, dan krijgen wij het geval van

Fig. 48.



een indifferent evenwigt; de balans zal, hoedanig ook geplaatst ten opzigte van de horizontale as, altijd in evenwigt zijn. Zoodanig ingerigt voldoet dus de balans niet aan het vereischte, dat zij, op zich zelve, niet aan de uiteinden belast zijnde, eenen horizontalen stand inneemt. Aan dit vereischte kan slechts dan voldaan worden, wanneer het zwaartepunt van de balans onder het beweegpunt gelegen is.

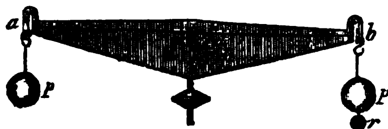
Stellen wij ons voor, dat er regthoekig op de lengte van de balans eene lijn getrokken zij, waardoor zij in tweeën gedeeld wordt, dan moet deze lijn door het draaipunt van de balans en door haar zwaartepunt gaan.

Bij het aanhangen der weegschalen blijft in onze voorstelling alles hetzelfde, want wij kunnen ons haar gewigt in het ophangpunt vereenigd denken, en zij maken dan een integrerend deel van de balans uit.

Wanneer men de ophangpunten van de balans door eene regte lijn verbindt, dan kan deze lijn door het draaipunt gaan, daar boven of beneden liggen. Het eerste van deze gevallen is zoowel voor de beschouwing het meest eenvoudig, als voor de praktische toepassing het meest doelmatig, en wij willen dus ook in ons onderzoek hiervan uitgaan.

In Fig. 49 zij *a b* de regte lijn, welke de ophangpunten van de weegschalen verbindt, wier gewigt wij ons in de punten *a* en *b* vereenigd denken; *c* zij het ophangpunt van de balans, derhalve haar *draaipunt; s* daarentegen zij het zwaartepunt van de balans.

Fig. 49.



Wanneer er in *a* en *b* gelijke gewigten *P* gehangen worden, dan blijft de balans haren horizontalen stand behouden, want men kan zich den een van die lasten als onmiddellijk in *a*, den anderen onmiddellijk in *b* werkende denken, en bijgevolg valt het gemeenschappelijk zwaartepunt der beide lasten *P* met het punt *c* zamen, en het gemeenschappelijke zwaartepunt van alle aan *c* hangende ligchamen, namelijk de balans en de lasten *P*, valt derhalve in een punt tusschen *c* en *s*; dit gemeenschappelijke zwaartepunt is nog loodregt onder het ophangpunt verbleven, het evenwigt is dus niet verbroken.

Indien men aan de eene zijde een overwigt *r* aanbrengt, dan zal het zwaartepunt der aanhangende lasten (die wij ons natuurlijk in de punten *a* en *b* vereenigd moeten denken) niet meer met *c* zamenvallen, maar het verplaatst zich op de lijn *a b* naar den kant van het overwigt, b. v. naar *d;* het gemeenschappelijke zwaartepunt der lasten en van de balans valt bijgevolg in het punt *m* van de lijn *d s*, doch dewijl bij eenen horizontalen stand der balans het gemeenschappelijke zwaartepunt *m* niet meer loodregt onder het ophangpunt *c* ligt, moet de geheele balans zich zoo lang draaijen om de as *c*, tot dat deze voorwaarde vervuld is. Hierbij zal noodwendig de arm *c a* moeten rijzen, *c b* daarentegen dalen. Den hoek, dien de balans bij een aan de eene zijde bestaand overwigt met de horizontale lijn maakt, noemt men den *hoek van doorslag.*

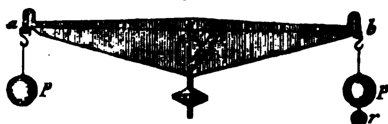
Laat ons nu onderzoeken, hoedanig eene balans ingerigt moet wezen, om zeer gevoelig te zijn, d. i. om bij een klein overwigt reeds eenen grooten doorslag te geven.

1) *Het zwaartepunt der balans moet zoo digt mogelijk onder haar ophangpunt gelegen zijn*, want wanneer bij overigens gelijke omstandigheden het zwaartepunt *s* van de balans naar boven verplaatst wordt, dan rijst ook het punt *m* loodregt naar boven, hetgeen blijkbaar eenen grooteren doorslag ten gevolge heeft. Bij goede balansen is eene toestel aangebragt, waardoor de plaatsing van het zwaartepunt geregeld kan worden. In het verlengde van de lijn *c s* is (Fig. 49) eene fijne schroef aangebragt, waar langs men naar omstandigheden een gewigt kan op- en nederschroeven, hetgeen natuurlijk eene verplaatsing van het zwaartepunt ten gevolge heeft. Indien men dit gewigt zoover omhoog schroefde, dat *s* met *c* zamen trof, dan zou men, zonder belasting, en bij gelijke belasting, ter wederzijde het geval van indifferent evenwigt verkrijgen; doch wanneer men dan aan de eene zijde het overwigt *r* aanbragt, zou het punt *m* op de lijn *a b* vallen, d. i. dat reeds bij het minste overwigt de hoek van doorslag tot een regte hoek zou worden, de balans zou volkomen doorslaan, om kort te gaan, het werktuig zou ophouden bruikbaar te zijn.

2) *De gevoeligheid van de balans is evenredig aan de lengte der armen van beide zijden.* Wanneer men, zonder overigens iets te veranderen, de balans langer kan maken, dan zou de afstand

van $c\ d$ in dezelfde rede grooter worden en het punt m zou dus, in eene met $a\ b$ evenwijdige rigting, op grooteren afstand van de lijn $c\ s$ verplaatst worden, de lijn $c\ m$ zou derhalve eenen grooteren hoek met $c\ s$ maken, en de hoek van doorslag bij gevolg grooter worden. (Het valt ligt te begrijpen dat de hoek $m\ c\ s$ zelf aan den hoek van doorslag gelijk is).

Fig. 50.



3) *De balans moet zoo ligt mogelijk zijn.* In het punt d kunnen wij ons het gewigt der lasten $2\ P \times 3$, in s daarentegen het gewigt van de balans, dat wij door g zullen aanduiden, vereenigd denken. Blijkbaar is nu de plaatsing van het gemeenschappelijke zwaartepunt m afhankelijk, van de grootte der, aan de uiteinden van de lijn $d\ s$ werkende krachten. Ingeval het in s werkzame gewigt g en het in d werkende gewigt $2\ P \times r$ aan elkander gelijk waren, dan zou m in het midden vallen van $d\ s$, doch hoe geringer g met betrekktng tot $2\ P \times r$ wordt, des te nader moet m zich naar d begeven, en zooveel te grooter wordt dan ook natuurlijk de doorslag..

Wat nu de twee laatste punten aanbelangt, is men echter aan zekere grenzen gebonden, welke men niet kan overschrijden, zonder dat de balans wegens te groote lengte ongeschikt ten gebruike wordt, of wegens hare ligtheid de noodige stevigheid verliest.

Het spreekt van zelf, dat men bij het maken eener balans alle zorg moet dragen, om hare armen aan beide zijden even lang te maken. Naardien evenwel kleine gebreken niet te vermijden zijn, moet men in deze door de wijze van het wegen voorzien. De doelmatigste methode zou in dit opzigt wel de navolgende zijn: Men legt het te wegen ligchaam in eene weegschaal, en brenge haar door zand, steengruis of dergelijke voorwerpen, in evenwigt. Zoodra men dit doel bereikt heeft, worde het te wegen ligchaam weggenomen, en in de plaats daarvan zooveel gewigt gelegd, dat het evenwigt daardoor ten tweeden male hersteld wordt. Deze gewigten geven naauwkeurig het gewigt des ligchaams te kennen, hetzij de armen van de balans al of niet gelijk zijn.

Opdat de wrijving aan de bewegings-as zoo gering mogelijk zij, neemt men daartoe eene tap van staal; ook de weegschalen zijn aan dergelijke tappen opgehangen.



TWEEDE HOOFDSTUK.

Evenwigt der deelen van vaste ligchamen onder elkander.

Wij hebben reeds boven gezien, dat men, ter verklaring 25
van de aggregratie-toestanden der ligchamen, *moleculaire krachten* aanneemt, die onophoudelijk tusschen de afzonderlijke deeltjes der ligchamen werkzaam zijn. Zoo lang nu de inwendige toestand van een ligchaam niet verandert, zoo lang de afzonderlijke deeltjes niet alleen op onveranderden afstand, maar ook in eene onveranderde wederkeerige plaatsing blijven, moeten natuurlijk de tusschen afzonderlijke deeltjes werkende krachten elkander in evenwigt houden. Bij de vaste ligchamen nu is het tusschen de afzonderlijke deeltjes bestaande evenwigt stabiel, want er wordt immers eene meer of min groote kracht vereischt, om dezen evenwigts-toestand te storen.

Gelijk wij gezien hebben, is bij de vaste ligchamen de zamenhangskracht overwegend, zij houdt de deeltjes te zamen en wederstaat zoowel derzelver verschuiving als scheiding; om zulk eene verschuiving of scheiding te bewerken, is derhalve immer eene meer of minder groote kracht noodig.

Veerkracht. Wanneer de deeltjes van een vast ligchaam door 26
uitwendig geweld eenigzins uit hunne wederkeerige plaatsing gebragt zijn geworden, dan is daarom de vroegere evenwigtstoestand nog niet geheel en al opgeheven; want de deeltjes kunnen hunne vorige plaatsing hernemen, wanneer de verstorende kracht ophoudt te werken. Deze eigenschap der ligchamen, door behulp van welke de deeljes tot hunnen vorigen evenwigts-toestand terug keeren, indien de door uitwendig geweld veroorzaakte verschuiving zekere grenzen niet overschreden heeft, noemt men *veerkracht*. De veerkracht der vaste ligchamen strekt ten bewijze, dat zich hunne deeltjes in een stabiel evenwigt bevinden, want alleen in het geval van stabiel evenwigt keert het ligchaam in zijnen vroegeren toestand van rust terug, zoodra de krachten, die het daaruit bragten, ophouden te werken.

Niet alle ligchamen zijn even veerkrachtig; er zijn ligchamen wier deeltjes zelfs na aanmerkelijke verschuiving toch weder volkomen in hunne vorige plaatsen terugkeeren, en zulke ligchamen, zoo als b. v. elastische gom (gummi elasticum) staal, ivoor, enz. worden hoofdzakelijk veerkrachtig genoemd, andere daarentegen, zoo als lood, glas, enz. zijn slechts in eenen geringen graad veerkrachtig, en kunnen geene aanmerkelijke verschuiving der deeltjes verdragen, zonder dat de vorige evenwigts-toestand opgeheven wordt.

De verschuiving der deeltjes kan door spanning, door zamendrukking of door draaijing bewerkt worden.

Wanneer er in den regel eene groote kracht vereischt wordt,

om eene verschuiving der deeltjes van een ligchaam te bewerken, dan noemt men dit ligchaam *hard*. Een ligchaam kan hard en veerkrachtig zijn, zoo als zulks bij ivoor, staal enz. het geval is; het glas daarentegen is hard en weinig veerkrachtig.

Een ligchaam, welks deeltjes reeds door eene geringe kracht verschoven kunnen worden, noemt men *week*. Ook de weeke ligchamen kunnen veerkrachtig zijn, zoo als b. v. caoutchouc, of slechts eenen zeer geringen graad van veerkracht bezitten, zoo als dit b. v. bij vochtige aarde het geval is. Den aggregatie-toestand van zulke weeke meer of min brijachtige ligchamen kan men eenigermate als een middentoestand tusschen den volkomen vasten en den volkomen vloeibaren toestand aanmerken.

Wanneer de deeltjes eens ligchaams boven de grenzen der veerkracht worden verschoven, dan houdt of de zamenhang geheel en al op, of de deeltjes rangschikken zich tot eenen nieuwen stabielen evenwigts-toestand. In het eerste geval noemt men de ligchamen *broos*, in het laatste *rekbaar*. Door drukking, stooten enz. kan men den uitwendigen vorm van broze ligchamen geene blijvende verandering doen ondergaan; wanneer door deze uitwendige oorzaken de deeltjes tot over eene zekere mate verschoven worden, volgt er eene volkomene scheiding; daarentegen kan de vorm van rekbare ligchamen door zulke mechanische middelen blijvend veranderen, zoo als dit b. v. uit het stempelen der munten blijkt.

27 **Vastheid.** De kracht, waarmede een ligchaam de scheiding zijner deelen wederstaat, noemt men zijne *vastheid*.

De tusschen de afzonderlijke deelen van een vast ligchaam bestaande zamenhang, laat zich door verscheuren, breken, verdraaijen of drukken opheffen.

Volstrekte vastheid noemt men de kracht, waarmede een ligchaam het *vaneenscheuren* wederstaat, wanneer het in de lengte wordt gespannen. Deze wederstand is echter natuurlijk afhankelijk van den dwarschen diameter van het te verscheuren ligchaam, en wel is hij evenredig aan dezen dwarschen diameter, want men moet toch den zamenhang van twee-, drie- of viermaal zooveel deeltjes verbreken, wanneer de dwarsche diameter eens ligchaams twee-, drie- of viermaal grooter gemaakt wordt. Ten einde nu de volstrekte vastheid van verschillende materialen gemakkelijk met elkander te kunnen vergelijken, moet men eenigerhande eenheid voor deze dwarsche doorsnede aannemen, en dan nagaan, hoe groot de kracht is, die gevorderd wordt, om een ligchaam, welks dwarsche diameter aan deze eenheid gelijk is, van een te scheuren. Wanneer de dwarsche diameter van het te onderzoeken ligchaam ook grooter of kleiner is dan de voor eenheid aangenomene dwarsche doorsnede, kan men toch deszelfs vastheid tot die van deze doorsnede herleiden.

Door MUSSCHENBROEK reeds zijn er vele proeven over de volstrekte vastheid van onderscheidene ligchamen in het werk gesteld. De onderstaande tabel geeft voor verschillende lig-

chamen het naar zijne proeven berekende gewigt aan, dat er vereischt wordt, om eene staaf van een te scheuren, wier dwarsche diameter 1 vierkante Ned. duim bedraagt.

Lindenhout	918	Ned.	ponden.
Vurenhout	1021	„	„
Dennenhout	601 tot 929	„	„
Eikenhout	1150 tot 1466	„	„
Beukenhout	1349 tot 1586	„	„
Ebbenhout	934	„	„
Koperdraad	2782	„	„
Geel koperdraad	3550	„	„
Gouddraad	4645	„	„
Looddraad	272	„	„
Tindraad	457	„	„
Zilverdraad	3411	„	„
IJzerdraad	4182	„	„
Wit glas	142 tot 233	„	„
Henniptouwen	350 tot 620	„	„

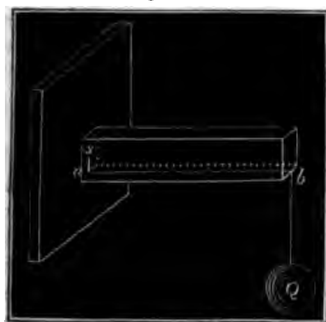
Het groote verschil in de vastheid der henniptouwen wordt veroorzaakt door de ongelijke gesteldheid van de stof waaruit zij vervaardigd zijn. Dunne touwen zijn naar evenredigheid sterker dan dikke, dewijl zij uit betere hennip vervaardigd zijn; door sterk draaijen der afzonderlijke draden wordt het draagvermogen der touwen aanmerkelijk verminderd. Natte touwen bezitten minder vastheid dan drooge.

Bij praktisch gebruik zal men wel doen om, ten einde zeker te zijn, voor de metalen slechts $\frac{1}{2}$, bij hout slechts $\frac{1}{3}$ van de door de proeven gevonden vastheid in rekening te brengen.

De kracht, waarmede een ligchaam het breken wederstaat, noemt men deszelfs *betrekkelijke vastheid.* Om een ligchaam te breken, moet de kracht regthoekig in de rigting der lengte-as aangebragt zijn; het te breken ligchaam is of slechts aan een of wel aan beide einden ondersteund.

In Fig. 51 is een prismatisch ligchaam voorgesteld, hetwelk met zijn eene uiteinde in eenen vasten wand steekt, terwijl aan het andere einde het gewigt Q, bestemd om het te breken, is aangebragt. Wanneer wij de volstrekte vastheid, d. i. de kracht waarmede het ligchaam eene in de rigting zijner lengte as werkende kracht weêrstaat, door K voorstellen, dan kunnen wij ons deze kracht vereenigd denken in het zwaartepunt s van die dwarsche doorsnede, welke met het vlak van den vasten wand zamentreft. De kracht Q poogt nu het geheele ligchaam

Fig. 51.



om den onderkant van het prisma te draaijen, en werkt bijgevolg aan den hefboomsarm *a b*, terwijl de in *s* aangebragte wederstand aan den hefboomsarm *a s* werkt; wanneer nu de wederstand de kracht juist in evenwigt zal houden, moet de wederstand *K* zich tot kracht *Q* omgekeerd evenredig verhouden als de hefboomsarm *a s* tot den hefboomsarm *a b*. Noemt men de hoogte van den balk *h*, dan is $as = \frac{1}{2} h$; duidt men voorts de lengte *a b* door *l* aan, dan heeft men

$$K : Q = l : \tfrac{1}{2} h$$

of

$$Q = \frac{K \cdot h}{2\,l}$$

De grootte der vastheid *K*, waarmede het ligchaam de vaneenscheuring wederstaat, is afhankelijk van de dwarse doorsnede van den balk. Noemen wij *k* de volstrekte vastheid voor de dwarse doorsnede van 1 vierkanten Ned. duim, *h* de hoogte, *b* de breedte van den balk, dan is

$$K = k\,b\,h,$$

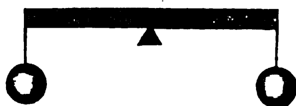
derhalve

$$Q = \frac{k\,b\,h^2}{2\,l}$$

Uit deze formule ziet men, dat de tot het breken eens ligchaams gevorderde kracht in regte rede met de breedte en het vierkant der hoogte vermeerdert, doch omgekeerd evenredig aan de lengte is.

Wanneer een balk in het midden zijner lengte door eene scherpe kant ondersteund is (Fig. 52), en aan de beide einden met gelijke gewigten *P* belast is, dan zullen deze streven, om den balk in het midden van zijne lengte te breken, en wel moet, om de breuk werkelijk te veroorzaken, het gewigt *P*, dat aan ieder einde werkt, dubbel zoo groot zijn als het gewigt *Q*, hetwelk aan het eene einde van denzelfden balk zou moeten aangebragt worden, in het geval dat hij met het andere einde in eenen vasten wand bevestigd ware, en met de geheele lengte daaruit reikte, zoo als in Fig. 51, want immers de gewigten *P* werken slechts aan eenen half zoo grooten hefboomsarm als het gewigt *Q*.

Fig. 52.

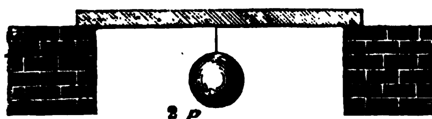


De druk, die op het steunsel in het midden werkt, is natuurlijk 2 *P*.

Indien de balk aan beide einden ondersteund ware, zoo als in Fig. 53, dan kan hij daardoor gebroken worden, dat men eenen last 2 *P* in het midden des balks hangt. Aangezien nu $Q = 2\,P$ is, moet men dus, om eenen aan beide einden ondersteunden balk te breken, eene viermaal grootere kracht aanwenden, dan die, welke noodig is om denzelven te doen breken, wanneer hij met zijne geheele lengte uit eenen vasten

wand naar buiten steekt, terwijl de kracht aan het vrije einde is aangebragt. De in dit geval tot het breken noodzakelijke kracht is bijgevolg

Fig. 53.



$$4\ k \frac{b\ h^2}{2\ l}$$

Door lengte van den balk verstaat men natuurlijk in het eene geval het uit den wand naar buiten stekende gedeelte, in het andere geval dat gedeelte, hetwelk tusschen de beide steunpunten gelegen is.

Tot nu toe hebben wij bij onze beschouwingen en berekeningen in het geheel niet in aanmerking genomen, dat de balken zich vóór het dadelijke breken nog eerst buigen. Door dat buigen wordt echter de betrekkelijke vastheid aanmerkelijk gewijzigd, zoodat de, naar bovenstaande formulen uit de bekende volstrekte vastheid berekende, waarden der betrekkelijke vastheid, aanmerkelijk van de wezenlijkheid kunnen verschillen. Wanneer echter deze formulen ook niet kunnen dienen, om de grootte der betrekkelijke vastheid onmiddellijk te berekenen, zijn zij toch voldoende, ten einde de betrekkelijke vastheid van balken en staven te vergelijken, welke uit hetzelfde materiaal vervaardigd zijn, doch in afmeting verschillen; want hoe ook de buigzaamheid de grootte der volstrekte vastheid wijzigen mogen, staat zij toch steeds in regte rede tot de breedte en het vierkant der hoogte, omgekeerd evenredig tot de lengte. In de formule

$$Q = k \frac{b\ h^2}{2\ l}$$

wordt derhalve door de buigzaamheid niets veranderd dan de waarde van den constanten factor k, in wiens plaats men niet de aan bovenstaande tabel ontleende waarde der volstrekte vastheid moet stellen, maar eenen anderen, zoo als die door de ondervinding is bepaald geworden. Uit proeven blijkt, dat de kracht, gevorderd tot het breken van eenen balk, bijna viermaal kleiner is dan de naar bovenstaande formule berekende kracht, waarbij voor k de waarde der absolute vastheid genomen was.

Welk eenen aanmerkelijken invloed de buigzaamheid op de betrekkelijke vastheid uitoefent, blijkt daaruit, dat, wanneer een balk aan de beide ondersteunde einden vrij ligt, men om denzelven te breken, in het midden slechts half zooveel gewigt behoeft te hangen, als wanneer hij aan de beide einden zoodanig bevestigd is, dat hij volstrekt niet kan medegeven.

Bij hout oefent natuurlijk ook de rigting der vezelen eenen belangrijken invloed uit op de vastheid.

De wederstand, dien een ligchaam aan drukking biedt, noemt

men volgens EIJTELWEIN de *terugwerkende vastheid.* Meer uitgebreid vindt men dit voor de praktijk zoo gewigtige onderwerp behandeld in GERSTNER'S *Mechanik* en in EIJTELWEIN'S *Handbuch der Statik fester Körper.*

28 **Aankleving.** Dezelfde kracht, waardoor de deelen van een vast ligchaam te zamen gehouden worden, is ook werkzaam, om de deelen van twee vroeger gescheidene ligchamen vereenigd te houden, wanneer het slechts mogelijk is om deze ligchamen elkander innig genoeg te doen raken. Zoo vereenigen zich reeds gepolijste spiegelglazen, vlak op elkander geplaatst, dikwijls zoo innig met elkander, dat zij niet meer van elkander verwijderd kunnen worden zonder de platen te verbreken. Eveneens kleven twee loodplaten, die men zamen drukt, bijna zoo vast aan elkander, alsof zij slechts een enkel stuk lood uitmaakten, wel te verstaan, indien de oppervlakten, met welke de loodplaten elkander aanraken, volkomen glad en niet geoxydeerd zijn.

Dit aan elkander kleven van twee ligchamen noemt men *aankleving* of *adhaesie.*

Deze adhaesie openbaart zich niet enkel tusschen gelijkaardige, maar ook tusschen ongelijkaardige ligchamen. Eene loodplaat met eene tinnen plaat, of eene koperplaat met eene zilverplaat door plet-cilinders getrokken, geven een bijna onafscheidelijk geheel.

Bijzonder sterk blijkt de adhaesie van ongelijkaardige ligchamen, wanneer een vloeibaar ligchaam met een vast ligchaam in aanraking gebragt wordt, en daarna door verkoeling, of door verdunning van het oplosmiddel, vast wordt; hierop berust het plakken, lijmen en metselen. Wanneer men twee stukken glas door middel van zegellak met elkander vereenigt, gebeurt het dikwijls, dat bij het vaneenscheuren, niet het glas van het lak wordt gescheiden, maar dat er stukken uit het glas getrokken worden. Wordt eene glasplaat met lijm bestreken, dan kleeft deze dikwijls zoo vast aan het glas, dat er stukken uit het glas springen, wanneer de lijm zich door uitdrooging zamentrekt.

Wanneer twee ligchamen met gladde oppervlakten op elkander liggen, en men het eene ligchaam over het andere verschuiven wil, dan wordt deze verschuiving door de adhaesie bemoeijelijkt, en derhalve behoort de adhaesie mede tot de oorzaken van den *wrijvings-weerstand,* die overal moet worden overwonnen, waar twee ligchamen over elkander heenglijden of waar het eene ligchaam over het andere rolt. Beneden zullen wij nog meer over de *wrijving* handelen.

29 **Kristalschieting.** Wanneer een ligchaam uit den vloeibaren of luchtvormigen staat in den vasten toestand overgaat, dan worden de tot dien tijd toe bewegelijke deeltjes door de cohaesiekracht, welke bij dien overgang de overhand krijgt, in eene bepaalde ligging tot elkander geplaatst. In de geheele natuur

openbaart zich echter bij dezen overgang in den vasten toestand een streven, om eene regelmatige rangschikking der deelen te bewerken. In de inorganische natuur wordt hierdoor de kristalschieting bewerkt.

Kristallen noemt men zoodanige vaste ligchamen, die zich in regelmatige, door gladde vlakken begrensde, gedaanten gevormd hebben. In de natuur treft men eene menigte zoodanige kristallen aan; de kwartz (bergkristal) b. v., kalkspaath, zwaarspaath, topaas, graniet, enz. vindt men dikwijls zeer schoon gekristalliseerd.

Wanneer ligchamen uit den vloeibaren toestand in den vasten overgaan, worden er bijna altijd kristallen gevormd. De overgang uit den vloeibaren in den vasten toestand wordt óf door verkoeling van een gesmolten ligchaam, óf door uitscheiding uit eene oplossing bewerkt.

Wanneer men gesmolten bismuth in eene eenigzins verwarmde schaal giet, vormt er zich na eenigen tijd op de oppervlakte eene vaste korst. Wordt deze korst doorboord, en het nog vloeibare metaal uit de schaal gegoten, dan vindt men binnen in de holte, die door de eerstgevormde korst omsloten is, teerlingvormige kristallen ter grootte van eenige lijnen.

Op gelijke wijze kan men ook kristallen verkrijgen uit gesmolten zwavel.

Indien men bevriezend water oplettend gadeslaat, kan men zien, hoe er zich fijne naalden van ijs vormen, en hoe zij van oogenblik tot oogenblik zich uitbreiden en vertakken. Wel ziet men hierbij niet zulke regelmatige kristalvormen als men bij de sneeuw aantreft, maar men ziet toch duidelijk, dat de vorming van ijs eene kristalschieting is.

Vele ligchamen worden in vloeistoffen, voornamelijk in water opgelost, en wel kan in eene bepaalde hoeveelheid water slechts eene bepaalde hoeveelheid van eenige stof worden opgelost; evenwel lost warm water meestal eene grootere hoeveel op dan koud water. Indien nu eene oplossing bij eene hoogere temperatuur verzadigd is, b. v. wanneer men in eene bepaalde hoeveelheid warm water zooveel aluin heeft opgelost als mogelijk is, dan kan deze zoutmassa niet meer geheel opgelost blijven wanneer de oplossing verkoelt; een gedeelte van het zout zal zich weder afscheiden, en schiet daarbij aan in regelmatige kristallen. — Ook vormen er zich kristallen, wanneer het water van eene verzadigde oplossing langzamer verdampt.

De kristallen worden niet enkel uit waterige oplossingen uitgescheiden; want de zwavel b. v. is oplosbaar in zwavelkoolstof, chloorzwavel en in terpentijn-olie, en uit alle deze oplossingen kan men schoone doorschijnende kristallen van zwavel verkrijgen.

De kristallen worden des te grooter en regelmatiger, hoe langzamer de verkoeling of verdamping voortgaat. Bij eene

snelle kristallisatie vormen er zich kleine kristallen, die zich zamenhoopen tot onregelmatige groepen, waaraan men ter naauwernood eenen kristalvorm kan herkennen.

Elke stof bezit eenen eigenaardigen kristalvorm; zoo is b. v. de kristalvorm van bergkristal anders dan die van aluin, en deze weder anders dan van kopervitriool.

Het onderzoek van de wetten der symetrie, welke tusschen de afzonderlijke kristalvlakken bestaan, gelijk ook de beschrijving der kristalvormen in het algemeen, maakt het onderwerp uit van de *kristallographie.*

DERDE HOOFDSTUK.

Hydrostatica of de leer van het evenwigt der vloeistoffen.

30 **De Hydrostatica of Waterweegkunde**, houdt zich bezig met de voorwaarden des evenwigts van drupvormige vloeistoffen, en met de drukking, die zij uitoefenen op de wanden der vaten, in welke zij bevat zijn.

De eigenschappen der drupvormige vloeistoffen zijn door twee krachten bepaald; de zwaartekracht namelijk, die op haar gelijk op alle andere ligchamen werkt, en de moleculaire aantrekkingskracht, wier werking echter bij deze stoffen zoodanig gewijzigd is, dat zulks den drupvormig vloeibaren toestand ten gevolge heeft. In onze gedachte kunnen wij de werkingen dezer beide krachten zeer wel van elkander scheiden, want wij kunnen ons eene massa waters voorstellen, die geene zwaarte bezit, hoewel zij daarom niet ophoudt vloeibaar te zijn.

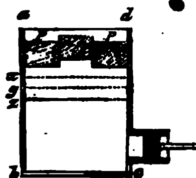
Zulk eene massa zou, aan zich zelve overgelaten, niet vallen; het is dus duidelijk dat zij, om in rust te zijn, niet door eenigen bodem behoeft ondersteund, nog in eenig vaatwerk behoeft bevat te zijn. In dezen toestand zou de vloeistof nog eene drukking kunnen ondergaan, en voortplanten volgens eene wet, welke wij onmiddelijk zullen onderzoeken.

31 **Wet van de gelijkheid der drukking.** *Vloeistoffen hebben de eigenschap, dat zij iedere drukking, welke op een gedeelte van hare oppervlakte wordt uitgeoefend, naar alle zijden gelijkmatig voortplanten.*

Deze wet is een natuurkundig axioma; doch hoewel het niet noodig is om haar te bewijzen, moeten wij haar toch begrijpelijk maken. In Fig. 54 zij *a b c d* een vat, waarin eene vloeistof bevat is die men zich zonder gewigt denkt; *p* is een deksel, hetwelk de oppervlakte van de vloeistof volkomen be-

dekt, en dat wij ons eveneens zonder gewigt zullen denken.

Fig. 54.



Wanneer dit deksel nu niet met eenig gewigt beladen is, dan ondergaat de vloeistof natuurlijk geene drukking, en men zou het vat hier of daar kunnen doorboren, zonder dat zij naar buiten vloeide. Indien men echter het deksel met eenig gewigt, b. v. met 100 ponden belast, zal het geneigd zijn om te zinken, en zou zulks ook werkelijk doen, wanneer de vloeistof dit niet belette. De vloeistof moet de 100 ponden dragen, hetzij zij zamenpersbaar zij of niet. De bovenste laag *x* zal dus de geheele drukking ondervinden en zou noodwendig naar beneden gedrukt worden, zoo zij niet door de laag *y* werd opgehouden. De laag *x* drukt bijgevolg even sterk op de laag *y*, als zij zelve door het deksel gedrukt wordt. Evenzoo drukt de laag *y* op de volgende *z*, en zoo plant zich de drukking voort tot op den bodem, die zelf juist zoo zwaar gedrukt wordt, alsof het deksel onmiddelijk op denzelven rustte. Naardien nu de geheele bodem eene drukking van 100 ponden draagt, wordt natuurlijk de halve oppervlakte van den bodem ook slechts met 50 ponden gedrukt, het honderdste gedeelte van deszelfs oppervlakte met 1 pond. Hieruit volgt:

1°. De drukking plant zich van boven naar beneden op horizontale oppervlakten zonder verlies voort.

2°. Zij is op ieder punt gelijk, en

3°. Zij is evenredig aan de uitgebreidheid van de oppervlakte, die men beschouwt.

Ten opzigte van de zijwanden grijpt hetzelfde plaats. Wanneer men in den zijwand eene opening maakte, zou het water daaruit stroomen, en wanneer men uit den zijwand een stuk sneed ter grootte van het deksel, dan had men eene tegendrukking van 100 ponden noodig gehad. Indien er in het deksel zelf eene opening ware, dan zou het water zich daardoor ontlasten, waaruit duidelijk blijkt, dat de ondervlakte van het deksel even sterk gedrukt wordt als al de andere wanden. De vloeistoffen planten dus de drukking die op eenig gedeelte van hare oppervlakte wordt uitgeoefend, naar alle zijden gelijkmatig voort.

Wanneer men eenmaal deze wet heeft aangenomen voor vloeistoffen zonder gewigt, dan kan men haar ook gemakkelijk toepassen op zwaarte bezittende vloeistoffen, op wier afzonderlijke moleculen eene drukking wordt uitgeoefend, die van hare eigene zwaarte afhankelijk is.

Op de gelijkvormige voortplanting van de drukking door middel van vloeistoffen, berust de *hydraulische pers;* zij bestaat uit twee voorname gedeelten, eene zuig- en perspomp, welke de drukking uitoefent, en eenen cilinder met eene plaat, die de drukking opvangt, om ze vervolgens over te voeren naar het ligchaam dat zamengeperst moet worden. Fig. 55 is eene zoo-

danige pers in doorsnede, Fig. 56 stelt ze in haar geheel ver-

Fig. 55.

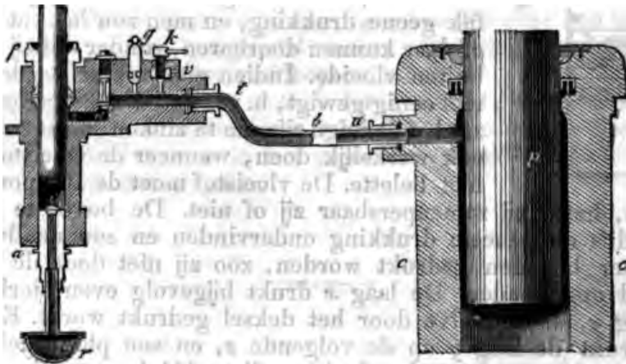
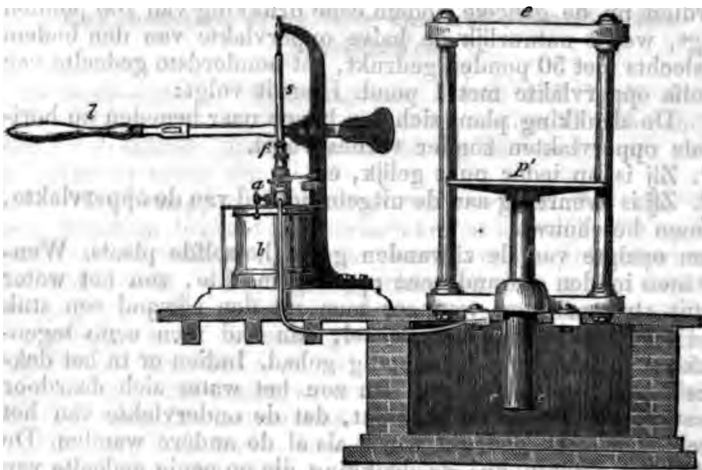


Fig. 56.



kleind voor. Door den hefboom *l* wordt de stang *s* omhoog gevoerd, het water uit den bak *b* dringt door het doorboorde emmertje *r*, opent den klep *i*, en komt zoo onder den stang *s*. Wanneer men den hefboom *l* naar beneden drukt, daalt ook de stang *s*, het teruggedrevene water sluit den klep *i*, opent den klep *d* en komt door de buis *t b u* in de cilinder *c c'* van de pers; hier drukt het nu tegen den cilinder *p*, dien het met de plaat *p'* in de hoogte voert, en zoo wordt het ligchaam dat geperst moet worden, tusschen *p'* en de onbewegelijke plaat *e* zamengedrukt.

De werking der hydraulische pers berust op de wet, dat door de vloeistoffen iedere drukking in elke rigtingen gelijkmatig wordt voortgeplant. Wanneer de stang *s* door een kracht

naar beneden gedrukt wordt, dan moet ieder gedeelte van de wanden, dat aan de dwarsche doorsnede van de stang gelijk is, eene gelijke drukking ondergaan. Nu kan men echter de benedenvlakte van den cilinder *p* als een gedeelte van den wand van het vat beschouwen; en zooveel maal als derhalve de dwarsche diameter van den cilinder *p* grooter is dan de dwarsche diameter van den stang *s*, zooveel maal zal ook de kracht, met welke de cilinder *p* omhoog gevoerd wordt, grooter zijn dan de kracht, waarmede de stang *s* naar beneden gedrukt wordt.

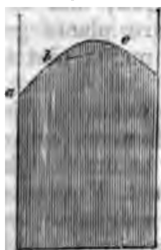
Wanneer de middellijn van de stang *s* $\frac{1}{100}$ der doorsnede van *p* is, dan wordt *p* met eene kracht van 100 ponden omhoog gevoerd, wanneer *s* door eene kracht van 1 pond naar beneden gedrukt wordt. Met den hefboom *l* kan een mensch echter gemakkelijk eene drukking van 300 ponden uitoefenen, en dus ook den cilinder *p* met een kracht van 30,000 ponden doen rijzen.

Een gedeelte van de kracht, welke aan den hefboom *l* aangewend wordt, gaat verloren door den wederstand van de wrijving, voordat zij naar den cilinder *p* is overgeplant; en het uitwerksel zal daarom altijd geringer zijn, dan volgens de aangevoerde beschouwingen het geval zou moeten wezen.

Het evenwigt van zwaarte bezittende vloeistoffen. Wanneer drupvormig vloeibare ligchamen in evenwigt zullen zijn, moet 32
er aan twee voorwaarden voldaan zijn: ten eerste moet de vrije oppervlakte dier vloeistoffen regthoekig zijn met de rigting der zwaarte, en ten tweede moeten de drukkrachten, die op ieder molecule werken, steeds aan elkander gelijk en tegenovergesteld zijn.

Stellen wij, dat de oppervlakte van het vocht niet regthoekig zij op de rigting der zwaartekracht, b. v. als *a b e d* (Fig. 57), dan kan men zich door de twee punten *b* en *e* een hellend vlak gelegen denken; een gedeelte der vloeistof ligt op dit hellend vlak, en moet, op grond van de ligte verschuifbaarheid der deeltjes, noodwendig van het hellend vlak afglijden. Dit zal nu zoo lang moeten geschieden, totdat de geheele oppervlakte overal regthoekig met de rigting der zwaarte staat.

Fig. 57.



Passen wij dit toe op de oppervlakte der zee, welke wij als in volkomene rust willen veronderstellen, dan is het duidelijk, dat, wanneer de zwaartekracht alleen werkt, en wanneer zij steeds naar het middelpunt der aarde gerigt is, de oppervlakten van alle zeeën een gedeelte der oppervlakte van eenen kogel zouden moeten daarstellen; dat derhalve de oppervlakte van alle met elkander in verband staande zeeën overal even ver van het middelpunt verwijderd moet zijn.

Wanneer de moleculen ook nog door andere krachten dan de zwaartekracht der aarde beheerscht worden, dan begrijpt men ligtelijk, dat hare vrije oppervlakte regthoekig moet zijn

met de resulterende van de zwaarte- en al de andere te gelijker tijd werkzame krachten. Daar nu de middelpuntvliedende kracht, die uit de beweging der aarde om hare as ontstaat, voortdurend gezamenlijk met de zwaarte op alle ligchamen werkt, moet de oppervlakte der wateren eenen zoodanigen stand aannemen, dat zij regthoekig op de resulterende der beide krachten staat. Dit is ook de rede, dat de zee aan de polen is afgeplat. Aan den voet van groote bergen, welke in staat zijn om het paslood van zijne rigting te doen afwijken, is de oppervlakte des waters eveneens van den gewonen vorm afwijkende. Eveneens vereenigt de aantrekkingskracht van de maan, welke op het water haren invloed uitoefent, zich met de zwaartekracht, om eene resulterende te vormen, die niet meer loodregt is. De bewegelijke oppervlakte van de zee tracht hierbij steeds om in een evenwigt te geraken, dat door de beweging der maan onophoudelijk verbroken wordt, en het is hierdoor dat de periodische afwisselingen van ebbe en vloed ontstaan.

Ook in de vaten zien wij de vloeistoffen van de normale oppervlakte afwijken; zoo is het water in een glas niet in de geheele uitgestrektheid zijner oppervlakte effen, maar het staat aan den rand hooger dan in het midden; daarentegen staat de oppervlakte van kwikzilver aan de randen lager, alsof het vreesde den wand te raken. Deze verschijnselen behooren tot de zoogenaamde capillariteits-verschijnselen, die wij later uitvoerig zullen behandelen.

De tweede voorwaarde ter evenwigt is van zelve duidelijk, want de moleculen welke zich in het binnenste der vloeistof bevinden, ondervinden van al de boven haar gelegene moleculen eene drukking, die zij naar alle rigtingen voortplanten. Wanneer toch de drukkrachten, die in tegenovergestelde rigtingen op een molecule inwerken, niet gelijk waren, dan zou zij door de sterkste dezer beide krachten van hare plaats gedreven worden, en bijgevolg ware de vloeibare massa niet in evenwigt.

33 **Drukking der vloeistoffen.** Wanneer vloeistoffen in evenwigt zijn, oefenen zij op zich zelve en op alle vaste ligchamen, waarmede zij in aanraking zijn, eene meer of minder aanmerkelijke drukking uit, wier grootte ons nu te bepalen staat. Vooreerst zullen wij de drukking nagaan, welke van boven naar beneden, of van beneden naar boven op horizontale oppervlakten wordt uitgeoefend, daarna de drukking op zijdelingsche oppervlakten.

De drukking, welke eene vloeistof van boven naar beneden op den bodem van het vat, waarin zij bevat is, uitoefent, is geheel onafhankelijk van de gedaante van het vat; zij is steeds gelijk aan het gewigt eener kolom van dezelfde vloeistof, voor wier basis men den bodem van het vat, en voor wier hoogte men den afstand van den bodem tot de oppervlakte der vloeistof rekent.

Het eerste gedeelte van deze stelling kan gemakkelijk worden

bewezen door middel van den navolgenden toestel. De toestel,

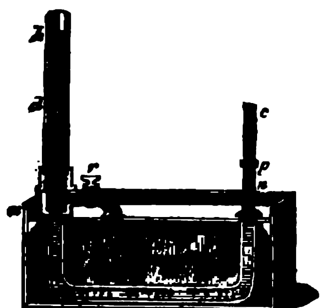


Fig. 58.

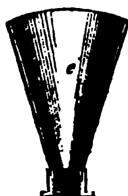


Fig. 59.



Fig. 60.

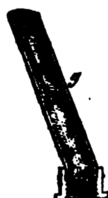


Fig. 61.

Fig. 58, bestaat uit eene krom gebogene buis *a b c*, welke in eene kast bevestigd en zoodanig ingerigt is, dat men bij *a* vaten van verschillende gedaante, zoo als *d*, *e*, *f* en *g* (Fig. 59, 60 en 61) daarop kan schroeven. In de buis giet men kwikzilver, en teekent op den arm bij *c* met behulp van een verschuifbaar merkteeken, de hoogte *m* tot op welke het kwikzilver stijgt. Wordt nu bij *a* het cilindrische vat *d* aangeschroefd, en tot op eene bepaalde hoogte *h* met water gevuld, dan zal het kwikzilver in de buis *c* tot op de hoogte *p* opklimmen, welke hoogte men aanteekent. De rijzing *n p* van het kwikzilver ontstaat natuurlijk door de drukking, welke het in het vat *d* gegotene water op de oppervlakte van het kwikzilver uitoefent, hetwelk den wezenlijken bodem van het vat daarstelt. Is deze waarneming geschied, dan ontledigt men het vat *d* door middel van de kraan *r*, neemt het vat weg, en schuift in deszelfs plaats het van boven wijde vat *e* of het van boven naauwere vat *f*. Indien men deze vaten tot op dezelfde hoogte met water vult als vroeger het vat *d*, dan zal het kwikzilver in de buis *c* ook weder juist ter hoogte van *p* rijzen. De drukking derhalve, die op den bodem van deze drie verschillend gevormde vaten werkt, is volkomen gelijk, wanneer de hoogte der vloeistof gelijk is. De drukking op den bodem is gevolgelijk, zoo als wij zeiden, onafhankelijk van de gedaante van het vat, en wordt enkel bepaald door de grootte van den bodem, de hoogte van het vat en de hoedanigheid der vloeistof. De drukking is gelijk, hetzij dat het vat cilindrisch zij, dat het veel (Fig. 62) of weinig (Fig. 63) vocht bevatte, hetzij het regt (Fig. 64) of scheef


Fig. 62.


Fig. 63.


Fig. 64.


Fig. 65.

(Fig. 65) zijn moge.

Om nu het tweede gedeelte der stelling te bewijzen, is het voldoende aan te merken, dat de bodem van het cilindrische vat (Fig. 63) enkel en alleen het geheele gewigt van de vloeistof moet dragen; want daar de zijwanden loodregt zijn, kunnen deze niet het minste van het gewigt dragen. Dewijl nu de bodem bij scheeve, zoowel als bij van boven wijdere of naauwere vaten altijd eene gelijke drukking ondervindt, volgt daaruit, dat bij deze vaten de drukking niet gelijk is aan het gewigt van het vocht dat zij bevatten, maar gelijk aan eene regte kolom der vloeistof, welke dezelfde basis en dezelfde hoogte bezit.

Naardien alle deelen van den bodem even sterk gedrukt worden, is het duidelijk, dat de helft, het derde, het vierde gedeelte enz. van den geheelen bodem, ook $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$ enz. van de geheele drukking moet dragen. Wanneer men door *s* het gedeelte des bodems, door *h* de hoogte van den waterspiegel, en door *d* de digtheid der vloeistof aanduidt, dan is de drukking op den bodem gelijk aan $s \times h \times d$; want $s \times h$ is het volumen der regte vochtkolom, en om het gewigt te verkrijgen, moet men het volumen met de digtheid vermenigvuldigen.

Met eene kan water, welk een pond weegt, kan men derhalve op den bodem van een vat eene uiterst geringe en ook eene oneindig groote drukking uitoefenen. Wanneer de drukking op den bodem juist een pond zal bedragen, moet men een regt cilindrisch vat nemen, met grooteren of kleineren bodem naar verkiezing; het totaal van de drukking op den geheelen bodem zal dan immer een pond zijn, doch zal de drukking, welke iedere vierkante duim te dragen heeft, geringer of grooter zijn, naarmate het vat wijder of naauwer is.

Indien men met een pond water eene drukking van $\frac{1}{10}$ pond op den bodem wilde uitoefenen, zou men b. v. een vat kunnen nemen, bij hetwelk de oppervlakte van den bodem eenen vierkanten palm bedraagt, en dat van boven zoodanig verwijd was, dat het met eene kan water slechts ter hoogte van eenen duim gevuld werd.

Moest de drukking 10 pond bedragen, dan name men een vat met dezelfde basis (een vierkante palm), dat bovenwaarts zoo naauw toeliep, dat eene kan water daarin ter hoogte van 10 palmen stond.

Met hetzelfde gewigt van 1 pond water, kan men even gemakkelijk eene drukking van $\frac{1}{100}$, $\frac{1}{1000}$, enz. als ook eene drukking van 100, 1000 en meer ponden uitoefenen.

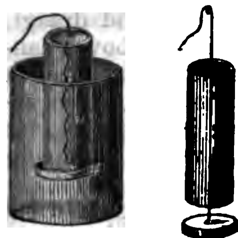
De drukking der vloeistoffen werkt niet alleen op den bodem der vaten, maar ook op ieder punt in het binnenste der vloeibare massa. Stellen wij ons in het binnenste eener vloeibare massa eene laag *m p* (Fig. 68) voor, die evenwijdig loopt met de oppervlakte der vloeistof, dan worden alle moleculen van deze laag natuurlijk door de daarboven staande vloeistof gedrukt, zij draagt het gewigt van den vloeibaren cilinder *n v m p*. De laag ondervindt echter ook eene gelijke drukking in tegenovergestelde rigting van beneden naar boven. Beschouwen wij

Fig. 66.

nu een gedeelte *a b* van de onderhavige laag, dan drukt op hetzelve van boven naar beneden het gewigt der vloeibare kolom *a b c d*, van onder naar boven echter eene volkomen gelijke kracht. Wanneer men bijgevolg eenen vasten cilinder in de vloeistof dompelt, zal zijne basis eene drukking van onder naar boven ondervinden, welke denzelven tracht opwaarts te voeren.

Deze gevolgtrekking laat zich door de navolgende proeve bevestigen. In Fig. 67 zij *v* eene eenigzins wijde glazen buis, wier onderrand glad of geslepen is; *t* is eene volmaakt vlakke glazen schijf, die in haar midden aan eenen draad bevestigd is, welke door de buis heen gaat; zoodat, wanneer men aan den draad trekt, de onderste opening naauwkeurig door de glazen schijf wordt gesloten. Zoodanig gesloten, wordt de buis in het water gedompeld. Nu is het niet meer noodig, om den draad gespannen te houden, ten einde het vallen van de glazen schijf te verhoeden, omdat deze door het vocht naar boven gedrukt wordt. Wanneer men water in de buis giet, zal de glazen schijf door haar eigen gewigt naar beneden vallen, zoodra het niveau van het water in de buis bijna gelijk is aan dat van het buitenste glas, want nu ondervindt de glazen schijf in de vloeistof naar boven eene gelijke drukking als naar beneden.

Fig. 67.



Wanneer men bijgevolg in den bodem van een schip eene opening maakt, zal het water onmiddelijk naar binnen stroomen; om zulks te verhinderen, zou men eene tegendrukking moeten uitoefenen, welke gelijk is aan het gewigt van eene waterkolom, wier basis gevormd wordt door de opening in het schip, en wier hoogte gelijk is aan de diepte waarop de opening beneden het niveau des waters gelegen is. De bodem van groote schepen moet derhalve zeer sterk gemaakt zijn, om de drukking des waters van beneden naar boven te kunnen verdragen. Stellen wij, dat de bodem horizontaal zij en 100 vierkante ellen oppervlakte bezit, dan zal deze drukking 100,000 ponden bedragen, indien hij eene el, en 300,000 ponden, wanneer hij drie ellen beneden het watervlak gelegen is.

Hieruit kan men opmaken, welk eene geweldig zware drukking de levende schepselen ondervinden, die de diepte der wateren bewonen. Op dit onderwerp zullen wij in het volgende hoofdstuk terug komen.

De drukking, welke een gedeelte van den zijwand te dragen heeft, is gelijk aan het gewigt eener kolom vocht, welke zoo hoog is, als het zwaartepunt van dit gedeelte van den wand onder het niveau gelegen is, en wier horizontale basis gelijk is aan het gedeelte van den wand.

De zijdelingsche drukking kan worden afgeleid uit de overeenkomstige horizontale drukking, volgens de wet van de gelijkmatige voortplanting der drukking naar alle zijden. Het punt *m*, Fig. 66, is een punt van de horizontale laag *m p*; de drukking, die het ondergaat, plant zich gelijkmatig voort in alle rigtingen, derhalve ook regthoekig op den wand. Ieder punt van den zijdelingschen wand ondervindt bijgevolg dezelfde drukking, die ieder punt van de even hooge horizontale laag vochts moet dragen. Beschouwen wij nu het een of andere gedeelte van den zijwand, bij welk gedeelte het hoogste punt zoo weinig boven het laagste verheven is, dat de drukking, welke deze beide punten ondervinden, zonder veel verschil als gelijk kan gesteld worden, dan is de drukking, welke dit gedeelte van den wand draagt, natuurlijk $s \times h \times d$, wanneer men *s*, *h* en *d* in de boven aangenomen beteekenis neemt. In een vat met water van 10 ellen hoog, is de drukking op een vierkanten duim van dezen zijwand op de diepte van eene el gelijk aan 100 wigtjes, ter diepte van twee ellen 200 wigtjes, ter diepte van 10 ellen echter, d. i. op den bodem, gelijk aan een pond.

De drukking, welke eenig punt van den loodregten wand in een met vocht gevuld vat moet dragen, kan men door eene teekening aanschouwelijk maken. Men trekke in *a*, Fig. 68, eene horizontale lijn, en make hare lengte *a b* gelijk aan de diepte van het punt *a* beneden den waterspiegel, dan stelt de lijn *a b* de drukking voor, welke het punt *a* ondervindt. Maakt men deze zelfde constructie voor onderscheidene punten van de loodregte lijn *r s*, dan zullen de eindpunten van al de horizontale lijnen in de lijn *r t* vallen. Daaruit volgt, dat de gezamenlijke drukking, welke de lijn *r s* van den loodregten wand des vats ondergaat, door den driehoek *r s t* wordt voorgesteld.

Fig. 68.



Het aangrijpingspunt der resulterende van alle afzonderlijke drukkingen, welke een wand draagt, noemt men *middelpunt van drukking*. Het ligt altijd lager dan het zwaartepunt van den wand, naardien toch de grootte van de drukking naar beneden steeds vermeerdert. Het middelpunt van drukking voor de loodregte lijn *r s* is gemakkelijk te vinden, want het is natuurlijk het punt *c*, in hetwelk de lijn *r s* gesneden wordt door de horizontale lijn, die door het zwaartepunt *o* van den driehoek *r s t* gaat. Hier hebben wij slechts eene lijn *r s* beschouwd, doch nemen wij in hare plaats eene naar verkiezing breede strook van den loodregten wand, dan ligt haar middelpunt van drukking op de loodregte middellijn, en wel is deszelfs hoogte boven den bodem $\frac{1}{3}$ van de hoogte, waarop zich het niveau boven den bodem bevindt.

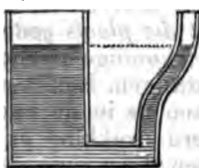
34 **Communicerende vaten.** Voor vloeistoffen, die in vaten aanwe-

zig zijn welke met elkander verbonden zijn, gelden eveneens de boven voorgedragen voorwaarden ter evenwigt, d. i. wanneer beide vaten dezelfde vloeistof bevatten, dan moet het niveau in beide even hoog zijn. Denken wij ons bij *m* in het wijdere vat, Fig. 69, een horizontaal tusschenschot aangebragt, dan hebben wij hierdoor twee vaten gekregen. Volgens de voorgedragene grondstellingen is de drukking, welke dit tusschenschot van beneden naar boven ondergaat, *Bh*, wanneer men door *B* den vlakte-inhoud en door *h* de hoogte *p v* verstaat. Wanneer nu, in het wijdere vat, *a b* het niveau der vloeistof is, en de hoogte *a m* door *h'* wordt aangeduid, dan is de drukking, welke het tusschenschot van boven naar beneden ondervindt, *B h'*. Denken wij nu het tusschenschot weder weg, dan zal de laag waters, die in de plaats van het tusschenschot treedt, van de eene zijde de drukking *B h'*, van de andere zijde de drukking *B h* ondervinden. Noodwendig zal er beweging volgen, zoodra niet $h = h'$; derhalve zal er slechts dan evenwigt zijn, wanneer $h = h'$, d. i. wanneer het niveau der vloeistof in beide vaten even hoog is.

Fig. 69.



Fig. 70.



Wanneer de vloeistoffen in beide vaten verschillend zijn, dan ligt het niveau in beide niet even hoog.

In de eene buis, Fig. 71, bevinde zich b. v. water, in de andere kwikzilver; en de vloeistoffen mogen elkander aanraken in *g*. Beneden het horizontale vlak van *g* bevindt zich nu kwikzilver, dat op zich zelf volkomen in evenwigt is. Derhalve moet de zuil kwikzilver boven *h* de kolom van water boven *g* in evenwigt houden, en opdat dit inderdaad het geval zij, moeten zich de hoogten van beide kolommen natuurlijk omgekeerd evenredig aan het soortgelijke gewigt der vloeistoffen verhouden, d. i. de kolom waters moet bijna 14 maal zoo hoog zijn als de kolom van kwikzilver, omdat het soortelijke gewigt des waters bijna 14 maal minder is dan dat van het kwikzilver.

Fig. 71.



Welke verschillende vloeistoffen men ook bezigen moge, altijd moet zich de hoogte der kolommen omgekeerd evenredig aan hare soortelijke gewigten verhouden. Zoo houdt b. v. eene 8 duim hooge kolom van geconcentreerd zwavelzuur eene kolom water van 14,8 duim in evenwigt, en eene 8 duim hooge kolom van zwavelaether eene waterkolom van 5,7 duimen.

Dikwijls ziet men, dat zware ligchamen zich bewegen in eene 35
aan de zwaarte tegenovergestelde rigting: kurk en hout b. v. stijgen in de hoogte, wanneer zij in het water gedompeld worden, desgelijks rijst ijzer in kwikzilver en de luchtballon in de lucht. Alle deze verschijnselen zijn gegrond op eene wet, die onder

den naam van *grondstelling van* ARCHIMEDES bekend is, omdat zij door dezen is ontdekt geworden.

Zij kan worden uitgedrukt als volgt: *Een ligchaam onder water gedompeld, verliest juist zooveel van zijn gewigt, als het uit die plaats verdrevene vocht weegt.* Of om juister te spreken: *Wanneer een ligchaam in eene vloeistof gedompeld is, wordt een gedeelte van zijn gewigt gedragen door de vloeistof, welk gedeelte gelijk is aan het gewigt der uit die plaats gestootene vloeistof.*

Men kan zich door eene eenvoudige beschouwing van de waarheid dezer grondstelling overtuigen. Een regt prisma zij loodregt gedompeld in de vloeistof, zoo als in de nevenstaande Fig. 72,

Fig. 72.



dan wordt iedere drukking op de zijden van het prisma opgeheven door eene gelijke en tegenovergestelde, doch de bovenste oppervlakte wordt gedrukt door eene kolom vocht, welke met het prisma dezelfde basis en de hoogte *h* heeft. De onderste oppervlakte daarentegen wordt van beneden naar boven gedrukt met eene kracht, welke gelijk is aan het gewigt eener zuil vochts van dezelfde grondvlakte en met de hoogte *h'*. De hoogten *h* en *h'* verschillen echter juist ter hoogte van het prisma van elkander, en bijgevolg is het duidelijk, dat de drukking op de onderste oppervlakte, die op de bovenste oppervlakte overtreft met het gewigt eener kolom vochts, welke gelijk is aan het volumen van het prisma. Naardien nu dit overschot van drukking naar boven de zwaarte des ligchaams zelve tegenwerkt, wordt natuurlijker wijze de werking der zwaartekracht op deze wijze verminderd.

De basis van dit prisma zij b. v. 1 vierkante duim, deszelfs hoogte 10 duim, de bovenste oppervlakte bevinde zich 3 duim beneden het niveau des waters, dan moet de bovenste oppervlakte de drukking van eene kolom waters van 1 vierkanten duim grondvlakte en 3 duim hoogte, derhalve het gewigt van 3 kubieke duimen waters, d. i. 3 wigtjes, dragen. De onderste oppervlakte is echter 13 duim beneden het niveau, zij moet derhalve eene van beneden naar boven werkende drukking wederstaan, die gelijk is aan het gewigt eener waterkolom van 1 vierkanten duim basis en 13 duim hoogte, derhalve 13 wigtjes bedraagt. Trekt men van deze 13 wigtjes de grootte der drukking van 3 wigtjes af, welke op de bovenste oppervlakte naar beneden werkt, dan blijven er 10 wigtjes over voor de kracht, waarmede het prisma door de drukking van het water naar boven gedreven wordt. Nu is 10 wigtjes het gewigt eener kolom water, welke hetzelfde volumen heeft als het prisma. Bestond dit prisma uit marmer, dan zou het 27 wigtjes wegen, onder water gedompeld zijnde, ondervindt het echter eene van beneden naar boven gerigte drukking van 10 wigtjes, bijgevolg zal het zich in het water juist zoo verhouden, alsof het 10 wigtjes *ligter* geworden ware.

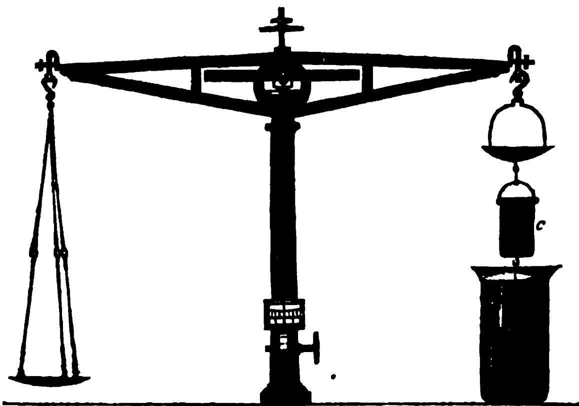
Nemen wij in de plaats van een zoodanig prisma eenen bundel van onderscheidene te gelijk (Fig. 73), dan is het duidelijk, dat ieder afzonderlijk prisma bij het indompelen onder water zooveel aan gewigt verliest, als een overeenkomstig volumen waters weegt, bijgevolg is ook het gewigtsverlies, hetwelk het geheele, uit onderscheidene prismen zamengestelde ligchaam ondergaat, gelijk aan het gewigt eener massa waters, wier volumen gelijk is aan het gezamenlijke volumen van alle prismen. Dewijl men nu ieder ligchaam tot eene menigte van zulke verticaal geplaatste prismen van zeer geringen diameter herleiden kan, kan onze gevolgtrekking ook naar verkiezing op ieder ligchaam worden toegepast.

Fig. 73.

Tot hetzelfde resultaat kunnen wij ook door eene geheel andere wijze van redeneren geraken. Stellen wij ons voor, dat de ruimte, die het onder water gedompelde ligchaam beslaat, met water zelf gevuld zij, dan zal dit water in de overige massa des waters zwevende blijven, het zal niet rijzen en niet zinken. Denken wij ons nu in de plaats van dit, uit water bestaande ligchaam, een ander ligchaam, dat bij gelijk volumen een gelijk gewigt heeft als die hoeveelheid water bedraagt, dan zal ook dit blijven zweven, zijn geheele gewigt wordt derhalve gedragen door het water, waarin het gedompeld is, en dus is het duidelijk, dat in het algemeen een gedeelte des gewigts van ieder onder water gedompeld ligchaam door het water gedragen wordt, welk gedeelte gelijk is aan het gewigt van het verplaatste water.

Door eene proeve kan men zich onmiddelijk van de waarheid der grondstelling van ARCHIMEDES overtuigen. Aan de eene weegschaal van eene gewone balans, is een holle cilinder *c*, Fig. 74, opgehangen, aan welke weder een massive cilinder *p*

Fig. 74.



hangt, die naauwkeurig in de holte der bovenste past. Op de

schaal aan de andere zijde plaatst men zooveel gewigt *d*, dat de balans in evenwigt komt. Dompelt men nu den cilinder *p* onder water, dan verliest *p* daardoor een gedeelte van zijn gewigt, en het evenwigt is dus verbroken; om het te herstellen behoeft men slechts den cilinder *c* met water te vullen, waaruit duidelijk blijkt, dat *p* bij het indompelen onder water juist zooveel aan gewigt verloren heeft, als het water weegt, waarmede de cilinder *c* gevuld is. Het volumen van het in *c* zich bevindende water is echter gelijk aan het volumen waters, dat door den cilinder *p* verplaatst wordt, bijgevolg is het gewigtsverlies van *p* gelijk aan het gewigt van het uit zijne plaats verdrongen water.

Gelijk wij boven gezien hebben, zou alles in evenwigt zijn, wanneer wij een onder water gedompeld ligchaam in water konden veranderen. Dit alsdan uit water bestaande ligchaam zou ook volkomen in evenwigt blijven, hoe men het om zijn zwaartepunt mogt draaijen. De van beneden naar boven werkende drukking der vloeistoffen is bijgevolg eene kracht, wier aangrijpingspunt zamenvalt met het zwaartepunt van het bedoelde ligchaam van water. Dit punt kan men *middelpunt van drukking* (van de vloeistof) noemen.

Wanneer nu in de plaats van het gedachte ligchaam van water eenige andere stof, b. v. kurk, marmer, ijzer enz. zijne ruimte beslaat, dan zal de drukking, welke dit ligchaam van de omgevende massa waters ondervindt, juist dezelfde zijn, die het bedoelde water-ligchaam had moeten ondergaan. Een onder water gedompeld ligchaam is derhalve onderworpen aan de inwerking van twee krachten, wier grootte en aangrijpingspunt ons nu bekend zijn. De eerste kracht is de zwaarte des ligchaams, welke van boven naar beneden werkt, en wier aangrijpingspunt in het zwaartepunt van het ligchaam is gelegen; de tweede kracht, die van beneden naar boven werkt, is gelijk aan het gewigt van het uit de plaats verdrongene water, en haar aangrijpingspunt ligt in het zwaartepunt dier verplaatste massa. Wanneer een volkomen ondergedompeld ligchaam volkomen gelijkaardig is, dan valt zijn zwaartepunt zamen met het zwaartepunt der verplaatste massa waters.

De naar boven werkende drukking der vloeistof wordt bestempeld met den naam van *opdrijven.*

36 **Voorwaarden van het evenwigt van ondergedompelde ligchamen.**

Opdat een volstrekt gelijkaardig ligchaam in eene vloeistof ondergedompeld, daarin zwevende blijve, wordt er niets anders vereischt, dan dat zijn gewigt volkomen gelijk zij aan het uit de plaats verdrongene vocht, de plaatsing van het ligchaam is daarbij volstrekt onverschillig; wij hebben hier het geval van een indifferent evenwigt. Om dit door eene proeve te bewijzen, vorme men een ligchaam van willekeurige gedaante uit eene massa, die uit 1 gewigtsdeel fijn gewreven cinnaber en 226 gewigtsdeelen witte was bestaat. Deze bestand-

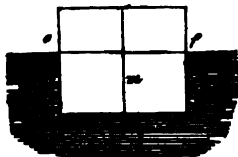
deelen moeten behoorlijk onder elkander gekneed zijn, opdat de massa genoegzaam gelijkvormig zij. Een ligchaam uit deze massa gevormd, zal in het water zweven, en, onverschillig hoedanig het ook geplaatst zij, in evenwigt blijven. In wijngeest zinkt het naar beneden, in eene zoutoplossing rijst het in de hoogte en drijft op de oppervlakte.

Wanneer het ondergedompelde ligchaam niet gelijkaardig is, zoodat het zwaartepunt des ligchaams niet zamentreft met het zwaartepunt van het verdrongene water, zoo kan het in allen gevalle toch nog in de vloeistof blijven zweven, wanneer zijn totale gewigt gelijk is aan het gewigt des verdrongenen waters, edoch in dit geval is het slechts dan in evenwigt, wanneer het zwaartepunt van het ligchaam en dat van het verdrongene water in eene en dezelfde loodlijn liggen; stabiel is het evenwigt echter dan alleen, wanneer het zwaartepunt des ligchaams de laagste plaats inneemt.

Voorwaarden van het evenwigt van drijvende ligchamen. Wanneer 37
een ligchaam drijft, dan is zijn geheele gewigt gelijk aan dat gedeelte der vloeistof, hetwelk door het ligchaam verdrongen wordt; de voorwaarde der stabiliteit van drijvende ligchamen is echter verschillend van de voorwaarde der stabiliteit bij ondergedompelde ligchamen. Een schip b. v., hetwelk een millioen ponden weegt, is in evenwigt wanneer het 1000 kubieke ellen waters verdringt, en wanneer zijn zwaartepunt en het middelpunt der drukking van het water in eene loodlijn liggen, maar ter verkrijging van stabiliteit is het niet noodzakelijk, dat zijn zwaartepunt beneden het middelpunt der drukking ligt, het is reeds voldoende, wanneer het lager gelegen is dan een ander punt, dat men met den naam van *Metacentrum* bestempelt. De ligging van het metacentrum is afhankelijk van de gedaante van het schip, de ligging van het zwaartepunt van de verdeeling der lading.

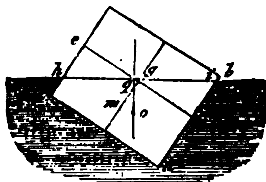
Hoewel de algemeene behandeling van het metacentrum ons te verre zou voeren, moeten wij toch de bepaling vaststellen. In Fig. 75 zij *a b c d* de doorsnede van een ondergedompeld ligchaam, welks doorsnede wij, ter vereenvoudiging van de beschouwing, als een langwerpigen vierhoek zullen aannemen. Wanneer het ligchaam drijft in zijne evenwigtsligging, dan zinkt het onder water tot aan *e f*. Het zwaartepunt der verdrongene massa waters is in *m* gelegen, en het zwaartepunt van het ligchaam ligt in de door *m* getrokkene loodlijn. Ligt het beneden *m*, dan drijft het in elk geval stabiel, want wij hebben dan een ligchaam voor ons, dat in het waterpunt *m* als het ware opgehangen is, en welks zwaartepunt lager ligt dan het ophangpunt, derhalve een slinger die om den evenwigtsstand slingert.

Fig. 75.



Wanneer het ligchaam uit den evenwigtsstand gebragt wordt en in de stelling als in Fig. 76 komt, dan is de driehoek *e g h* uit het water opgeheven, *g i f* daarentegen ondergedompeld; doch daar de hoeveelheid van het verdrongene water steeds dezelfde moet zijn, welke stelling het ligchaam ook innemen moge, volgt daaruit, dat *e g h* = *g i f*. Nu is echter de gedaante van het ondergedompelde gedeelte anders dan vroeger; natuurlijk laat zich begrijpen dat het zwaartepunt der verdrongene massa waters nu niet meer in *m* gelegen is, maar in een ander punt *o*, welks plaatsing voor ieder afzonderlijk geval moet gezocht worden. Denken wij ons nu door *o* eene loodlijn getrokken, dan zal deze de, in de evenwigtsstand door *m* getrokkene, loodlijn in een punt *q* snijden, en dit punt is het metacentrum. Zoodra slechts het zwaartepunt des ligchaams op de lijn *m q* lager ligt dan *q*, zal hetzelve door het in *o* aangrijpende gewigt des ligchaams zoodanig om *o* gedraaid worden, dat het weder in den evenwigtsstand terugkeert. Het drijvende ligchaam verliest zijne stabiliteit geheel en al, zoodra zijn zwaartepunt boven het metacentrum ligt.

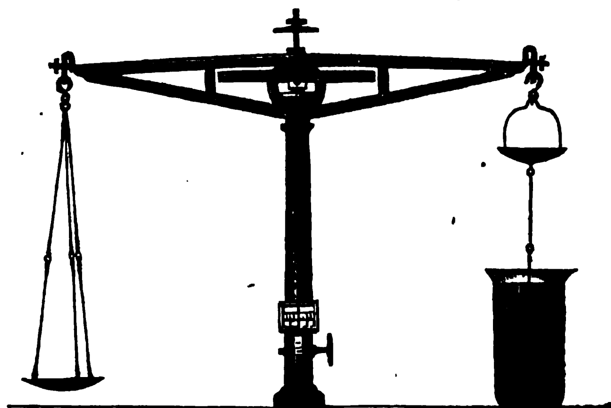
Fig. 76.



Het ligchaam drijft des te stabieler, hoe breeder het ondergedompelde gedeelte is, en hoe lager het zwaartepunt ligt.

38 De grondstelling van ARCHIMEDES geeft ons voortreffelijke middelen aan de hand, om het soortelijke gewigt van vaste en vloeibare ligchamen te bepalen. Ten einde de digtheid van een vast ligchaam te berekenen, moet men zijn volstrekte gewigt en het gewigt van een gelijk volumen water kennen. In de meeste gevallen echter kan men uit de afmetingen eens ligchaams zijn volumen moeijelijk of in het geheel niet vinden. Volgens de grondstelling van ARCHIMEDES leeren wij uit eene

Fig. 77.

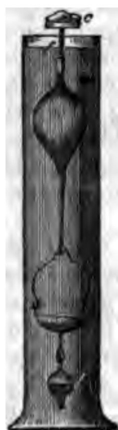


enkele proeve het gewigt eener massa waters, welke hetzelfde volumen heeft als het te onderzoeken ligchaam: wij behoeven daartoe slechts het verlies van zijn gewigt bij het onderdompelen in het water te bepalen.

Om deze bepaling gemakkelijk met eene balans te kunnen bewerkstelligen, moet men daaraan eene kleine verandering aanbrengen, waardoor zij in eene zoogenaamde *hydrostatische balans* veranderd wordt. In de plaats van de eene waagschaal namelijk hangt men eene andere, welke niet zoo laag naar beneden hangt, en waaraan zich van onder een haakje bevindt, aan hetwelk men het te onderzoeken ligchaam kan hangen. Is dit geschied, dan kan men, door het opleggen van gewigten op de andere weegschaal, het absolute gewigt g van het ligchaam bepalen. Dompelt men het nu onder water, dan moet men van het gebezigde gewigt g een gedeelte a wegnemen, om de balans weder in evenwigt te brengen; a is derhalve het gewigtsverlies, dat het ligchaam bij het onderdompelen in het water ondergaat, bijgevolg $\frac{g}{a}$ zijn soortelijke gewigt.

39 **De areometer van Nicholson.** Ter bepaling van het soortelijke gewigt van vaste ligchamen, kan men, in de plaats van eene balans, den areometer van NICHOLSON bezigen, die in Fig. 78 is afgebeeld.

Fig. 78.



Aan een hol ligchaam, v, van glas of metaal, is van onder eene kleine eenigzins zware massa l (een met kwikzilver gevuld glazen bolletje of een metalen kogeltje) gehangen, van boven echter is aan hetzelve een dun staafje aangebragt, dat eene plaat c draagt, waarop men kleine ligchaampjes en gewigten kan leggen. Onder water gedompeld zijnde, drijft het ligchaam, en wel regt op, omdat zijn zwaartepunt door het gewigt l zoo ver mogelijk naar beneden is overgebragt. Het werktuig is zoodanig ingerigt, dat het bovenste gedeelte van het ligchaam v nog boven het water uitsteekt. Legt men nu het ligchaam, welks specifiek gewigt men bepalen wil, b. v. eenig mineraal, op het plaatje c, dan zinkt het werktuig meer naar beneden, en door het opleggen van meer tarra-gewigtjes, kan men het instrument gemakkelijk doen zinken totdat het juist gedaald is tot aan het punt f, hetwelk men op de eene of andere wijze (gewoonlijk door eene vijlstreep) op het staafje heeft aangeteekend. Nu neemt men het mineraal weg, en legt in deszelfs plaats zooveel gewigt, totdat de areometer weder juist tot aan het punt f gezonken is. Indien men in de plaats van het mineraal n milligrammen had moeten opleggen, dan is het gewigt van het mineraal gelijk aan n milligrammen.

Zoodra men op deze wijze het absolute gewigt van het mineraal bepaald heeft, worden de n milligrammen weder weggenomen, en het ligchaam gelegd in een bakje, hetwelk men

men tusschen *b* en *l* vindt. Het werktuig zou nu weder zinken tot aan *f*, zoo niet het in het bakje geplaatste ligchaam, door zijne onderdompeling in het water, in gewigt verloor. Men zal derhalve op het plaatje nog gewigten, *m* milligrammen, moeten opleggen, om het werktuig tot aan het merkteeken te doen zinken. Langs dezen weg heeft men het absolute gewigt *n* van het ligchaam, en het gewigt van een overeenkomstig volumen waters *m* gevonden; het gevraagde specifieke gewigt is dus $\frac{n}{m}$

Het zij b. v. gegeven, om het soortelijke gewigt van eenen diamant te bepalen, Men heeft denzelven op het plaatje gelegd en zooveel tarra-gewigt daarbij gevoegd, dat de areometer tot aan *f* zinkt. Nadat de diamant was weggenomen, moest men in zijne plaats 1,2 wigtje opleggen, om het werktuig even laag te doen dalen; het absolute gewigt bedraagt dus 1,2 wigtje. Deze worden weder weggenomen en de diamant in het bakje gelegd; om het werktuig nu weder tot aan *f* te doen zinken, moet men nog 0,34 wigtje op het schaaltje leggen; het gewigt van een aan den diamant gelijk volumen waters is dus 0,34 wigtje en het gevraagde specifieke gewigt $\frac{1,2}{0,34} = 3,53$.

Ook het soortelijke gewigt van vloeistoffen kan men met den areometer van NICHOLSON bepalen. Dewijl het werktuig altijd zoo diep zinkt, tot dat zijn gewigt, te zamen met de gewigten op het schaaltje, gelijk is aan de massa der verdrongene vloeistof, kan men met dezen areometer nagaan, hoeveel een bepaald volumen der vloeistof weegt. Daartoe is het echter noodig, dat men wete, hoeveel het werktuig zelf weegt: dit gewigt zij *n*. Om den areometer, in het water gedompeld, tot aan *f* te doen zinken, moeten er nog gewigten bijgevoegd worden. Duiden wij dit bijgevoegde gewigt door *a* aan, dan is $n \times a$ het gewigt der verdrongene hoeveelheid waters.

Dompelt men nu den areometer in eenig ander vocht, dan zal men in de plaats van *a* een ander gewigt *b* moeten opleggen, om denzelven tot aan *f* te doen zinken; *b* zal grooter zijn dan *a* wanneer de vloeistof zwaarder is dan water, minder dan *a* wanneer zij ligter is. Het gewigt der verdrongene vloeistof is $n \times b$; haar volumen is echter juist even groot als het gewigt der hoeveelheid waters, wier gewigt $n \times a$ is, dewijl immers de areometer in beide vochten even diep gezonken is.

Het werktuig wege b. v. 70 wigtjes, men moet 20 wigtjes opleggen om het in water, 1,37 om het in wijngeest tot *f* te doen zinken, dan is het specifiek gewigt van den wijngeest $\frac{70 \times 1,37}{70 \times 20} = 0,793$.

Deze areometer is des te gevoeliger, hoe dunner het staafje is in verhouding tot het ondergedompelde volumen.

Om met dezen areometer het soortelijke gewigt van vloeistoffen te bepalen, is altijd eenigzins omslagtig. Even spoedig,

en met meer zekerheid, zou men zijn doel kunnen bereiken door middel van de balans op de bij Fig. 77 aangegevene wijze.

In vele omstandigheden van het dagelijksche leven is het noodig, om spoedig, door eene zoo eenvoudig mogelijke handelwijze, het specifieke gewigt eener vloeistof te onderzoeken, ten einde daaruit tot de hoedanigheid dier vloeistof te besluiten. In zulke gevallen is het echter genoegzaam voldoende, om het specifieke gewigt tot op twee gedeelten eener breuk naauwkeurig te vinden, men bereikt dit doel het spoedigste door den schaal-areometer, dien wij onmiddelijk zullen beschrijven.

Schaal-areometer. Door den areometer van NICHOLSON werd het 40
specifieke gewigt eener vloeistof afgeleid uit de vergelijking van het absolute gewigt bij gelijke volumina. Het gebruik van den schaal-areometer echter is daarop gegrond, dat bij gelijk absoluut gewigt de soortelijke gewigten zich omgekeerd aan de volumina verhouden.

Fig. 79 stelt eenen schaal-areometer voor. Gewoonlijk bestaat hij uit eene cilindervormige glazen buis, welke van onder wijder is, gelijk men in de plaat ziet. In den ondersten kogel is een weinig kwikzilver bevat, hetgeen enkel ten doel heeft, om het werktuig regt op te doen drijven. Stellen wij ons voor, dat het werktuig in het water drijft, dan is het gewigt des verplaatsten waters gelijk aan het gewigt van het werktuig. Dompelen wij het nu in eene andere vloeistof, dan zal het meer of minder diep zinken, naarmate de vloeistof ligter of zwaarder is dan water. Gesteld, de areometer wege 1 wigtje, dan zal hij, in water drijvende, 10 kubieke duimen water verplaatsen. Dompelt men hem in wijngeest, dan zal hij zoo diep zinken, dat de verplaatste hoeveelheid wijngeest ook 10 wigtjes weegt. Doch 10 wigtjes wijngeest beslaan meer ruimte dan 10 wigtjes water, het werktuig zal derhalve dieper zinken, en wel zoodanig, dat het in den wijngeest gedompelde volumen, zich tot het in water gedompelde volumen omgekeerd verhoudt van de soortelijke gewigten dezer vloeistoffen.

Fig. 79.

a

Men ziet nu wel in, dat, wanneer de buis doelmatig verdeeld is, men uit eene enkele, ligt in het werk te stellen, waarneming het specifieke gewigt eener vloeistof kan opmaken. Onder alle schalen, die op areometers zijn aangebragt geworden, is de door GAY-LUSSAC opgegevene de eenvoudigste en doelmatigste; wij zullen deze daarom het eerst beschouwen.

Denken wij ons aan eenen areometer dat punt *a* der buis aangeteekend, tot op hetwelk de areometer in het water daalt; voorts op de buis, van dit punt uitgaande, eene rij van merkteekens zoodanig geplaatst, dat het volumen van een gedeelte der buis, hetwelk tusschen twee zulke merkteekens valt, $\frac{1}{100}$ van het in het water zinkende volumen zij. Nemen wij b. v. aan, dat het volumen van het gedeelte des areometers, dat in het water gedom-

peld is, juist 10 vierkante duimen bedraagt, dan zou het volumen van het tusschen twee merkteekens gelegene gedeelte der buis 0,1 kubieken duim bedragen.

Het waterpunt *a* wordt door 100 aangeduid, en de verdeeling geschiedt van onder naàr boven. De op deze wijze verdeelde areometers noemt men *volumenmeters.*

Gesteld, de areometer zonk in de eene of andere vloeistof tot aan het merk 80 van de volumenmeter-schaal, dan ziet men daaruit, dat 80 volumen-deelen van deze vloeistof zooveel wegen als 100 volumina water; het specifieke gewigt dier vloeistof verhoudt zich derhalve tot dat van het water, als 100 tot 80, het is dus $\frac{100}{8} = 1{,}25.$

Ware de volumenmeter in eene andere vloeistof tot aan het merk 116 van de schaal gezonken, dan zouden wij, door dezelfde berekening, vinden, dat het specifieke gewigt van dat vocht $\frac{100}{116} =$ 0,862 is. Om kort te gaan; *wanneer de volumenmeter in eenige vloeistof tot aan een bepaald punt y van de schaal zinkt, dan vindt men het soortelijke gewigt der vloeistof, door het getal van het waargenomene punt der schaal in 100 te deelen, d. i. het is* $s = \frac{100}{y}$.

De naauwkeurigheid van zulk een werktuig is des te grooter, hoe verder het eene merkteeken van het andere verwijderd is, hoe dunner dus de buis is in vergelijking tot het volumen van het geheele werktuig. Opdat echter de buis niet al te lang worde, maakt men den volumenmeter niet voor alle vloeistoffen zonder onderscheid, maar men vervaardigt afzonderlijke voor ligtere, en andere voor zwaardere vloeistoffen. Bij de eerste soort vindt men het door 100 aangeduide waterpunt digt bij het boveneinde van de buis.

Het werktuig zij bestemd voor zware vloeistoffen, en dus het waterpunt aan het bovenste uiteinde der buis. Men bereide een vocht, welks specifiek gewigt juist 1,25 is; zulk een vocht kan men zich gemakkelijk verschaffen, door vermenging van water met zwavelzuur, en dit mengsel met de balans te onderzoeken. In dit vocht dompelt men nu den areometer, en teekent het punt aan, tot waarop het zinkt. Het soortelijk gewigt 1,25 is echter overeenkomstig met het merk 80 van de volumenmeterschaal; het laatst aangeteekende punt moet men derhalve merken met 80, de ruimte tusschen dit punt en het waterpunt in 20 gelijke deelen verdeelen, en deze verdeeling kan men ook onder 80 naar beneden voortzetten.

Indien de volumenmeter voor ligtere vloeistoffen bestemd is, en dus het punt 100 aan het ondereinde van de buis aanwezig is, dan vindt men een tweede punt der schaal, wanneer men het werktuig dompelt in een mengsel van water en wijngeest, welks specifiek gewigt naauwkeurig 0,8 bedraagt. Het speci-

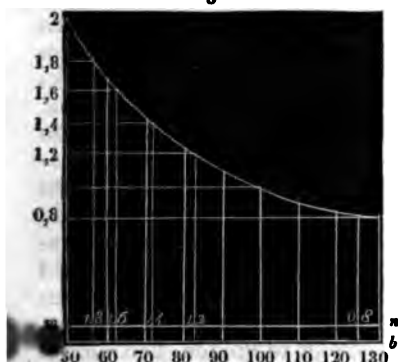
fieke gewigt 0,8 beantwoordt aan het merkteeken 125, men moet derhalve de ruimte tusschen dit streepje en het waterpunt in 25 gelijke deelen verdeelen.

Gewoonlijk is de verdeeling gemaakt op een strookje papier, en in het binnenste van de buis bevestigd.

De verhouding tusschen de onderscheidene punten der schaal en het soortelijk gewigt, laat zich in de nevenstaande plaat gemakkelijk overzien.

De lijn *a b*, Fig. 80, stelt ons eene volumenmeter-schaal voor, die van het merk 50 tot 130 loopt. Op ieder der van 10 tot 10 voortgaande punten is eene loodlijn getrokken, en aan deze eene lengte gegeven, evenredig aan het overeenkomstige soortelijke gewigt. Zoo is b. v. de in het punt 100 getrokkene loodlijn gelijk 1, de in 50 getrokkene 2, de in 120 getrokkene 0,83 enz. Het is natuurlijk geheel en al onverschillig, welke eenheid men bij het trekken dezer loodlijnen kiest.

Fig. 80.



De bovenste uiteinden dezer loodlijnen zijn verbonden door eene kromme lijn, en het is deze lijn, welke ons de wet ververtegenwoordigt, volgens welke de punten der schaal en de overeenkomstige soortelijke gewigten tot elkander staan. De kromme lijn wordt des te steiler, hoe meer zij tot het onderste bij *a* gelegene gedeelte der volumenmeter-schaal nadert. Hieruit blijkt echter duidelijk, dat het verschil van de beide in 60 en in 70 getrokkene loodlijnen grooter zijn moet, dan het verschil der loodlijnen, welke in de even ver van elkander verwijderde punten 120 en 130 getrokken zijn; of in het algemeen dat een gelijk aantal van volumenmeter-graden aan het ondereinde van den volumenmeterschaal aan een grooter verschil der soortelijke gewigten beantwoordt dan aan het boveneinde. Daaruit blijkt voorts nog, dat, wanneer de deelpunten der schaal aan gelijke verschillen van het soortelijke gewigt zouden beantwoorden, de afstand van twee merkstreepen aan het boveneinde der schaal grooter zou moeten zijn dan aan het ondereinde.

Eene tweede rationeele wijze van verdeeling der areometerschaal, die eveneens door GAY-LUSSAC is aangegeven, doch vroeger reeds door BRISSON en G. G. SCHMIDT werd aangewend, is die, welke onmiddelijk de specifieke gewigten leert kennen. De verhouding van deze schaal tot de volumenmeter-schaal is gemakkelijk te begrijpen. Wanneer men op eene der loodlijnen van Fig. 80 de hoogten 0,8, 1, 1,2, 1,4, 1,6 enz. aanteekent, dan op deze hoogten horizontale lijnen trekt tot op de snijding

der kromme lijn, en van deze snijpunten weder loodregte lijnen laat vallen op de lijn welke de volumenmeter-schaal voorstelt, of, zoo als in onze Figuur het geval is, tot de lijn *m n*, welke een weinig boven die van de volumenmeter-schaal ligt, dan verkrijgen wij de schaalpunten, die aan de specifieke gewigten 1,8, 1,6, 1,4 enz. beantwoorden. Wij zien echter, hoe ongelijk hier de deelen der schaal zijn, hoe zij van onder naar boven grooter worden.

Wij hebben hier slechts de constructie dezer schaal voor de punten van 20 tot 20 procent van het soortelijke gewigt aangegeven. Indien men werkelijk eene schaal op deze wijze wil construeren, dan moet de teekening naar eenen grooteren maatstaf uitgevoerd zijn, en de punten op zijn minst van 5 tot 5 procent van het soortelijke gewigt gezocht worden. De tusschenruimten die men op deze wijze verkrijgt, kan men dan, zonder dat zulks tot grove onnaauwkeuriger leidt, in gelijke deelen verdeelen.

Door SCHMIDT is eene andere wijze van constructie voor deze schalen aangegeven. Hoewel men nu met deze soort van areometers onmiddelijk het soortelijke gewigt kan vinden, verdient toch de volumenmeter verreweg de voorkeur. Vóór alles is de volumenmeter veel gemakkelijker te vervaardigen; wegens de gelijkheid der verdeelingen kan men met meer naauwkeurigheid de onderafdeelingen van de deelen der schaal waarderen; en voorts is de berekening, welke vereischt wordt om uit de volumenmeter-schaal het speciefieke gewigt te vinden, zoo uiterst eenvoudig, dat men deze kleine berekening stellig niet als een nadeel van den volumenmeter kan doen gelden.

In het praktische leven is het niet dadelijk de bedoeling, om het soortelijke gewigt eener vloeistof op te sporen, maar men wil daar den graad van concentratie van eene zoutoplossing, de mengingsverhoudingen eener vloeistof leeren kennen. Deze nu staan voorzeker met het specifieke gewigt in naauw verband, zoodat, wanneer door middel van den areometer het soortelijke gewigt eener vloeistof is gevonden, men daaruit ook tot de gesteldhed van de vloeistof kan besluiten. Voor zulke vloeistoffen, die in het praktische leven menigvuldig voorkomen, heeft men echter bijzondere areometers vervaardigd, waardoor de mengingsverhoudingen onmiddelijk worden aangewezen; wij willen hier slechts eenen der belangrijkste, den *alcoholmeter* namelijk, nader beschouwen.

De alcoholmeter dient ter bepaling van het alcoholgehalte eens mengsels van water en wijngeest.

Het soortelijke gewigt van alcohol is 0,793, wanneer men het water voor eenheid aanneemt; een mengsel van water en absoluten alcohol zal dus eene digtheid bezitten, welke tusschen 1 en 0,793 valt, en des te meer tot de eene of andere grens nadert, naarmate het mengsel meer water of meer alcohol bevat. De digtheid van het mengsel verschilt echter van het arithmetische midden, hetwelk men uit de mengingsverhoudingen berekent.

De grond van deze afwijking is daarin gelegen, dat er, wanneer

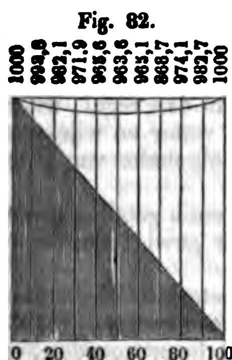
men water en wijngeest vermengt, eene zamentrekking, eene vermindering van volumen volgt, die wij vooraf door eene proeve aanschouwelijk willen maken.

Men giete eene glazen buis (b. v. eene zoodanige als men tot de proeve van TORRICELLI bezigt) half vol water, en vulle de andere helft met wijngeest (bij voorlezingen is gekleurde wijngeest te verkiezen), dan zullen de beide vloeistoffen zich niet met elkander vermengen; de wijngeest drijft op het water. Men sluite nu het opene uiteinde van de buis met eene kurk, zoodat er volstrekt geen vocht naar buiten kan treden, keert vervolgens de buis om, en door het zinken van het water zal dan de vermenging der vloeistoffen weldra volgen. Zoodra de beide vloeistoffen volkomen vermengd zijn, ziet men, dat de vroeger geheel gevulde buis niet meer geheel gevuld is: er heeft zich eene ledige ruimte gevormd, die in de buis eene lengte van ongeveer $\frac{1}{2}$ duim bedraagt.

Fig. 81.

Door de nevenstaande Fig. 82 wordt de wet van zamentrekking voor de verschillende mengingsverhoudingen zinnelijk voorgesteld. De op de verschillende punten der horizontale basis van het paralellogram opgerigte, en tot aan de bovenzijde doorgaande, loodlijnen stellen de som der gemengde volumina voor; en wel dat gedeelte, hetwelk in de geschaduwde ruimte valt, het volumen van het water, terwijl het gedeelte der loodlijn hetwelk in de bovenste, niet geschaduwde, ruimte valt het volumen van den bijgevoegden wijngeest voorstelt. Zoo is b. v. de in het punt 20 van de grondlijn opgerigte loodlijn door den diagonaal van het paralellogram zoodanig in twee deelen verdeeld, dat $\frac{8}{10}$ van hare lengte in de geschaduwde, $\frac{2}{10}$ echter in de niet geschaduwde ruimte vallen; dit beantwoordt dus aan het geval dat 80 procent water met 20 procent wijngeest vermengd zijn. In dit geval echter beslaat het mengsel een volumen, dat slechts 0,982 van de som der vermengde volumina is, en daarom is op deze loodlijn, van onder af gerekend, de lengte 0,982 geteekend (wanneer men de geheele lengte der loodlijn als eenheid aanneemt). Zoo is in het punt 60 de lengte 0,965 aangegeven, omdat 40 procent water, met 60 procent wijngeest vermengd zijnde, zich tot 0,965 der som van de vermengde volumina zamentrekken enz. De boven elke loodlijn staande getallen geven voor ieder geval de juiste waarde van het volumen na de vermenging aan, wanneer de som der vermengde volumina 1000 is. Over het boveneinde der loodlijnen, welke naar de aangegevene wijze zijn gemerkt, is eene

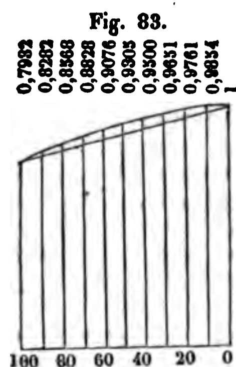
Fig. 82.



kromme lijn getrokken. De loodregte afstand van elk punt dezer kromme lijn van de bovenste horizontale lijn stelt de grootte der zamentrekking voor.

Uit deze beschouwingen volgt, dat het soortelijke gewigt eens mengsels van water en wijngeest steeds grooter moet zijn dan het berekende arithmetische midden. In Fig. 83 is 0,793 de lengte van de in het punt 100 opgerigte loodlijn, wanneer men de lengte van de in het punt *o* opgerigte loodlijn als 'eenheid aanneemt. De eerste stelt het specifieke gewigt voor van absoluten alcohol, de andere dat van water. Wanneer men de bovenste einden dezer beide buitenste loodlijnen door eene regte lijn vereenigt, vervolgens in de punten 90, 80, 70 enz. van de grondlijn loodlijnen oprigt, welke zich tot aan deze regte lijn uitstrekken, dan zou de lengte dezer loodlijnen het specifieke gewigt eens mengsels van 90, 80, 70 enz. volumendeelen wijngeest met 10, 20, 30 enz. volumendeelen water voorstellen, wanneer er namelijk geene zamentrekking plaats greep. Op ieder dezer loodlijnen is echter de lengte aangeteekend, die aan de ware digtheid van het mengsel beantwoordt. De kromme lijn, door welke de einden der onderscheidene loodlijnen vereenigd worden, is eene voorstelling van den regel, waarnaar de digtheid eens mengsels van water en wijngeest veranderd wordt, wanneer het alcoholgehalte van 0 tot 1000 procent stijgt.

Fig. 83.



De boven iedere loodlijn aangeteekende getallen geven de juiste waarde van het specifieke gewigt des overeenkomstigen mengsels aan.

Wanneer men nu aan eene areometerbuis die punten aanteekent, welke aan de specifieke gewigten 0,793, 0,828, 0857 . . . . 0,976, 0,985 en 1 beantwoorden, en ze aanduidt met de getallen 100, 90, 80 . . . . 20, 10, 0; wanneer men verder, hetgeen geschieden kan zonder groote fouten te veroorzaken, de ruimte tusschen ieder van deze twee punten in 10 gelijke deelen verdeelt, dan verkrijgt men eenen *procent-areometer* voor wijngeest, d. i. een areometer, waarop men onmiddellijk kan zien, hoeveel volumenprocenten alcohol zich in een mengsel van water en wijngeest bevinden. Zoodanige alcoholmeters werden in *Frankrijk* naar de opgaven van GAY-LUSSAC, in *Duitschland* naar die van TRALLES vervaardigd, en door de regering bevolen, dat het alcoholgehalte van den aan accijns onderworpenen brandewijn, wijngeest enz. door middel van dit werktuig zou bepaald worden. De nevenstaande schaal, Fig. 84, vertoont de hoofdverdeelingen

Fig. 84.

100 90 80 70 60 50 40 30 20 10 0

van eenen zoodanigen alcoholmeter in hare juiste verhoudingen. Men ziet daaruit, gelijk zich reeds vooraf liet begrijpen, welk een verschil er in de grootte der verdeelingen bestaat.

De alcoholmeter kan door den volumenmeter zeer gemakkelijk vervangen worden, wanneer men slechts daarbij eene tabel bezigt, waarop het alcoholgeholte is aangegeven, dat aan de verschillende volumenmetergraden beantwoordt.

Het laat zich begrijpen dat men den alcoholmeter enkel en alleen voor het opgegevene doel kan bezigen, en dat hij voor elke andere vloeistof volkomen onbruikbaar is. Op dezelfde wijze als de alcoholmeter, zijn ook areometers vervaardigd, die naauwkeurig het gehalte van een zuur, eene zoutoplossing enz. aangeven. Naardien echter zoodanig werktuig slechts voor eene enkele vloeistof gebezigd kan worden, gebruikt men liever voor allen den volumenmeter, en zoekt het gehalte, dat aan de gevondene volumenmeter-graden beantwoordt, in tabellen, welke bijzonder voor dit doel vervaardigd zijn.

Ons blijven nu nog de oudere areometerschalen te vermelden, welke evenwel volstrekt geene wetenschappelijke waarde hebben.

Beaumé bepaalde, behalve het waterpunt, nog een tweede vast punt, hetwelk hij verkreeg door den areometer te dompelen in eene oplossing, bestaande uit 1 gewigtsdeel keukenzout en 9 gewigtsdeelen water. De ruimte tusschen deze beide punten verdeelde hij in 10 gelijke deelen, die hij graden noemde; en ook boven en onder de beide vaste punten is de verdeeling voortgezet. Voor vloeistoffen die zwaarder zijn dan water, is het waterpunt door *o* aangeduid, en de graden worden naar beneden geteld. Voor ligtere vochten is het waterpunt door 10 aangeduid, en de graden worden naar boven geteld. Het is duidelijk, dat men met zulk een werktuig noch het soortelijke gewigt, noch het gehalte eener vloeistof leert kennen.

Door cartier werd er eene onwezenlijke verandering gebragt in de schaal van beaumé, hij maakte namelijk de graden eenigzins grooter, zoodat 15 van zijne graden, gelijk zijn aan 16 op de schaal van beaumé. Hoewel hij daarmede volstrekt geen nut heeft gesticht, is daardoor toch zijn naam vereeuwigd geworden, want hoezeer zijne schaal ook van alle waarde ontbloot zij, is zij niettemin zeer algemeen verspreid.

In *Duitschland* heeft vooral meissner zich ten opzigte van de areometrie verdienstelijk gemaakt, en zijn werk: „*Die Aräometrie in ihrer Anwendung auf chemie und Technik.* Wien 1816" is wel het volledigste, wat de litteratuur in dit opzigt heeft aan te toonen. Zijne areometers bestaan uit eenvoudige cilindrische glazen buizen van 6 tot 8 millimeters diameter, *zonder verwijding aan het ondereinde.* Het ondereinde is gevuld met kogelkorrels, die in zegellak zijn ingesmolten; in het bovenste gedeelte bevindt zich de schaal.

De onderstaande tabel bevat eene opgave van het soortelijke

gewigt van eenige ligchamen, wier kennis dikwijls noodzakelijk of ten minste belangrijk is.

TABEL DER SOORTELIJKE GEWIGTEN VAN EENIGE VASTE LIGCHAMEN BIJ 0 GRAAD.

Platina gemunt	22,100	Marmer	2,837
Platina geplet	22,069	Smaragd	2,775
Platina gesmolten	20,857	Bergkristal	2,683
Platina draad	19,267	Porselein saksisch	2,493
Goud gemunt	19,325	Porselein fransch	2,145
Goud gesmolten	19,253	Porselein chineesch	2,384
Iridium	18,600	Gips (gekristalliseerd)	2,311
Wolframium	17,600	Zwavel (natuurlijke)	2,033
Lood, gesmolten	11,352	Ivoor	1,917
Palladium	11,300	Albast	1,874
Zilver	10,474	Anthracit	1,800
Bismuth	9,822	Phosphorus	1,770
Koper gehamerd	8,878	Barnsteen	1,078
Koper gegoten	7,788	Was (witte)	0,969
Koper draad	8,780	Sodium	0,972
Cadmium	8,694	Potassium	0,865
Molijbdaenium	8,611	Ebbenhout	1,226
Geel koper	8,395	Eikenhout (oud)	1,171
Arsenicum	8,308	Palmhout	1,330
Niccolum	8,279	Ahornhout nat	0,904
Uranium	8,1	Ahornhout droog	0,659
Staal	7,816	Hagebeukenhout nat	0,982
Cobaltum	7,812	Hagebeukenhout droog	0,590
IJzer gesmeed	7,788	Dennenhout nat	0,890
IJzer gegoten	7,207	Dennenhout droog	0,555
Tin	7,291	Elzenhout nat	0,857
Antimonium	6,712	Elzenhout droog	0,500
Tellurium	6,115	Esschenhout nat	0,904
Chromium	5,900	Esschenhout droog	0,644
Jodium	4,948	Beukenhout nat	0,945
Zwaarspaath	4,426	Beukenhout droog	0,769
Selenium	4,320	Lindenhout nat	0,817
Diamant	3,520	Lindenhout droog	0,439
Flintglas Frauenhofer	3,779	Mahonijhout	1,060
Flintglas fransch	3,200	Nootenboomenhout	0,677
Flintglas engelsch	3,373	Cijpressenhout	0,598
Flesschenglas	2,600	Cederhout	0,561
Spiegelglas	2,370	Populierenhout	0,383
Tourmalin (groen)	3,155	Kurk	0,24

DIGTHEID VAN EENIGE VLOEISTOFFEN

(bij 0°, waarbij niets meer bemerkt wordt.)

Gedestilleerd water . .	1,000	50 proc. zuur	1,295
Kwikzilver	13,598	60 „ „	1,348
Bromium	2,966	70 „ „	1,398
Zwavelzuur (engelsch) .	1,848	80 „ „	1,438
Verdund zwavelz. naar		90 „ „	1,473
DELEZENNE bij 15° C.:		100 „ „	1,500
10 proc. zuur	1,066	Melk	1,030
20 „ „	1,138	Zeewater	1,026
30 „ „	1,215	Wijn: Bordeaux — . . .	0,994
40 „ „	1,297	„ Champagne — . .	0,998
50 „ „	1,387	„ Malaga —	1,022
60 „ „	1,486	„ Moezel —	0,916
70 „ „	1,595	„ Rijn —	0,999
80 „ „	1,709	Olie: Citroen —	0,852
90 „ „	1,805	„ Lijn —	0,953
100 „ „	1,840	„ Papaver —	0,929
Verdund salpeterzuur		„ Olijf —	0,915
10 proc. zuur	1,054	„ Terpentijn — . . .	0,872
20 „ „	1,111	Alcohol (absolute)	0,793
30 „ „	1,171	Zwavelaether	0,715
40 „ „	1,234	Zwavelkoolstof	1,272

VIERDE HOOFDSTUK.

Moleculaire werkingen tusschen vaste en vloeibare ligchamen, als ook tusschen de afzonderlijke deelen der vloeistoffen zelve.

41 **Adhaesie tusschen vaste en vloeibare ligchamen.** Tusschen de vaste en vloeibare ligchamen doen zich overeenkomstige verschijnselen voor, als tusschen vaste ligchamen, d. i. de vloeistoffen hechten meer of minder sterk aan de oppervlakten van vaste ligchamen. Wanneer men b. v. eenige waterdruppels tegen eene loodregt staande glazen schijf sprenkelt, dan zullen zij ten deele daaraan blijven hangen, en niet naar beneden vloeijen, zoo als het geval zijn zou, zoo niet de zwaartekracht der druppels door eene andere kracht, namelijk door de aantrekking, die er tusschen de deeltjes der vloeistof en de oppervlakte van de glazen plaat bestaat, in evenwigt werd gehouden.

De adhaesie is ook de oorzaak, dat de vloeistoffen, zoo men die uit eenig vat wil gieten, zoo ligt langs den buitenwand van het vat afvloeijen. Om dit te voorkomen, bestrijkt men den buitenrand met vet, of men laat het vocht langs een bevochtigd glazen staafje vloeijen.

42 **Haarbuizen.** Boven is gezegd, dat de oppervlakte van vocht,

in een of ander vat aanwezig, eene horizontale vlakte zou zijn. Dit is echter slechts voor zoo verre waar, als de moleculaire werkingen aan de wanden van het vat hierop geenen storenden invloed uitoefenen. In de nabijheid der wanden grijpen ten allen tijde afwijkingen van de normale oppervlakte plaats.

Wanneer men het eene einde van een glazen buisje in eene vloeistof dompelt, dan staat het niveau derzelve in het buisje nooit op dezelfde hoogte als het niveau van het vocht daar buiten. Indien het buisje b. v. in het water gedompeld wordt, rijst het vocht in hetzelve (Fig. 85) hooger; maar zoo het in kwikzilver gedompeld wordt, dan is de hoogte van de kolom in het buisje minder dan die van het kwikzilver buiten het buisje (Fig, 86). Deze verschijnselen van rijzen en dalen worden met den naam van *haarbuis-(capillariteits-)verschijnselen* bestempeld, en de kracht waardoor zij worden voortgebragt, noemt men *haarbuis-aantrekking*, *capillariteit*. Deze kracht werkt niet enkel om het vocht in het buisje te doen rijzen of dalen, zij oefent overal hare werking uit, waar slechts vloeistoffen met vaste ligchamen, vloeistoffen met elkander of vaste ligchamen wederkeerig in aanraking zijn, of in het algemeen daar, waar de kleinste deeltjes der weegbare stof elkander aanraken.

Fig. 85.

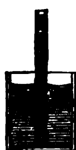


Fig. 86.



Door proefneming kan men zich gemakkelijk overtuigen, dat het verschil in hoogte van het vocht in het buisje en het niveau van de vloeistof buiten hetzelve des te grooter is, hoe naauwer de buisjes zijn. Wanneer men twee buisjes, van welke het eene tweemaal grooteren diameter bezit dan het andere, in water dompelt, dan zal het water in het naauwere buisje tweemaal hooger rijzen, maar wanneer men ze in kwikzilver dompelt, zal dit in het naauwere buisje eens zoo laag dalen. In het algemeen verhoudt zich het verschil der hoogte van het niveau der vloeistof in en buiten het buisje, omgekeerd evenredig aan den diameter der buizen. De hoogte waartoe het vocht wordt opgetrokken, is diensvolgens afhankelijk van den diameter van de wanden der buizen, waarbij de dikte en de zelfstandigheid van de wanden der buis geenen invloed uitoefenen, wanneer zij slechts door de vloeistof bevochtigd worden; maar daarentegen is die hoogte wezenlijk afhankelijk van den aard der vloeistof. Het onderstaande is de stand van drie verschillende vochten in eene buis van 1 streep diameter:

Water	29,79	Streep.
Alcohol (spec. gewigt 0,8135) .	9,15	„
Terpentijn-olie	12,72	„

Nog moet men opmerken, dat wanneer een vocht in eene naauwe buis opklimt, de top van de vochtkolom altijd hol is, zoo als in Fig. 87, en een halfrond van de grootte des doormeters

der buis daarstelt. Wanneer daarentegen het vocht daalt, dan vertoont de top zich gewelfd, zoo als in Fig. 88 aan. Deze vormen zijn wezenlijk verbonden aan het rijzen of dalen, want wanneer men b. v. de inwendige oppervlakte van den wand der buis met vet besmeert, en haar dan in het water dompelt, dan krijgt men aan den top de figuur van eenen convexen meniscus, juist alsof men een gewoon glazen buisje in kwikzilver dompelde. Daaruit blijkt, dat het verschil van niveau van de gedaante van den meniscus afhankelijk is, en dat derhalve alle oorzaken, waardoor de meniscus belet wordt zijnen regelmatigen vorm aan te nemen, ook de hoogten der zuilen wijzigen. Wanneer b. v. eene buis van binnen niet volkomen zuiver en glad is, dan vormen er zich tandsgewijze uitsnijdingen aan den rand van den meniscus, en men verkrijgt dan, bij herhaalde proefneming, zeer verschillende resultaten.

Fig. 87.

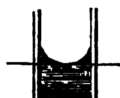
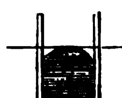


Fig. 88.



Op de werking der haarbuizen berust het oprijzen van vochten door vloeipapier, de werking der kaarsen- en lampenpitten, effloresceeren van verzadigde zout-oplossingen, enz. De vaten der planten, welke het sap uit de weefsels omhoog voeren, zijn buitengemeen fijn, en doen reeds daardoor de vloeistof naar boven klimmen.

Zamenhang tusschen de deeltjes eener vloeistof. Hoewel de vloeistoffen geene zelfstandige gedaante bezitten, en de afzonderlijke deeltjes derzelve zeer gemakkelijk over elkander verschuifbaar zijn, houdt daarom toch tusschen deze niet alle zamenhang op, gelijk reeds uit de vorming van druppels, de *drupvorming*, blijkt. Wanneer men een weinig water giet op eene met lycopodium bestrooide plaat, of een weinig kwikzilver in eene porceleinen schaal, dan worden er bijna kogelvormige druppels gevormd. Indien er volstrekt geen zamenhang tusschen de afzonderlijke deeltjes van het water en het kwikzilver bestond, moesten de deeltjes gelijk stof uit elkander vallen; bij het langzame uitgieten van vochten uit eenig vat zouden zij niet in afzonderlijke droppels vallen; zulk een droppel valt eerst dan, wanneer hij zwaar genoeg is, om zich als het ware van het overige der massa af te scheuren. 43

Men kan de cohaesie, die er tusschen afzonderlijke deeltjes eener vloeistof bestaat, regtstreeksch meten. Wanneer eene vaste schijf op de oppervlakte van een vocht geplaatst wordt, kan men haar niet meer in eene horizontale rigting zoo uit het water trekken, alsof zij vrij in de lucht hing, maar er wordt, om haar in de hoogte te trekken, eene meer of minder groote kracht gevorderd. Om deze kracht te meten, bedient men zich van de balans. Aan de eene zijde hangt men eene horizontale schijf, aan de andere zijde legt men een tegenwigt dat haar in evenwigt houdt. Wanneer de balans in evenwigt gekomen is, brengt

men de benedenste oppervlakte der schijf in aanraking met eenig vocht, zoodat dit haar op alle punten raakt, daarna plaatst men, zonder stooten, op de andere zijde van de balans gewigten, en merkt op, hoeveel er noodig is om de schijf van het vocht los te rukken.

Ten einde eene glazen schijf van 118^{mm} diameter los te rukken, zijn er voor onderscheidene vochten verschillende gewigten noodig, en wel voor

Water.	59 wigtjes
Alcohol	31 „
Terpentijn-olie. .	34 „

Eene schijf van dezelfde grootte uit koper of eenige andere zelfstandigheid vervaardigd, geeft, wanneer zij met het vocht in aanraking is, dezelfde resultaten. De adhaesie is derhalve even als de capillariteit niet afhankelijk van den aard der vaste ligchamen, en wordt enkel bepaald door den aard der vloeistof. De rede daarvan is ligt te begrijpen, want bij het omhoog trekken blijft er steeds eene laag van het vocht aan de plaat hangen, en men trekt dus, door het overwigt van de andere zijde, niet het vocht van de vaste schijf, maar men scheidt de moleculen van het vocht van elkander, en men moet derhalve de cohaesie van de vloeistof overwinnen. Deze proeven geven dus eenen maatstaf voor de cohaesie der vloeistoffen, derhalve voor de aantrekking die er tusschen hare deeltjes bestaat; en men ziet dat deze aantrekking vrij aanmerkelijk is, en verandert, naarmate van den aard van het vocht.

Wanneer de oppervlakte der schijf niet door de vloeistof bevochtigd wordt, zoo als dit b. v. het geval is, zoo men eene glazen schijf op kwikzilver legt, dan wordt door het bijgevoegde gewigt, door hetwelk de schijf wordt losgerukt, de cohaesie van het vocht niet meer uitgedrukt.

Ten einde eene glazen schijf van de bovengenoemde grootte los te rukken, wordt eene kracht van ongeveer 200 wigtjes vereischt. Daaruit blijkt, dat zelfs wanneer een vast ligchaam niet door eene vloeistof wordt bevochtigd, er toch tusschen de moleculen van de vloeistof en die van het vaste ligchaam eene meer of minder groote aantrekking bestaat; doch is in dit geval de cohaesie der vloeistof grooter dan de adhaesie tusschen het vocht en het vaste ligchaam.

De tot nu toe in dit hoofdstuk beschrevene verschijnselen kan men op de navolgende wijze onder een theoretisch gezigtspunt vereenigen.

Het kwikzilver stelt op papier, het water op eene met vet besmeerde of eene bepoederde oppervlakte, kogelvormige droppels daar. Gewoonlijk verklaart men dit verschijnsel uit de algemeene aantrekking van alle moleculen onder elkander, op dezelfde wijze als men den spherischen vorm der hemelligchamen verklaart. Deze verklaring is evenwel niet aannemelijk, omdat

de moleculaire aantrekking geheel anders werkt dan de algemeene zwaarte; dewijl zij, slechts op onmerkbare afstanden op de naastbijgelegene moleculen werkende, zich niet zoodanig kan concentreren, dat er als het ware een middelpunt van aantrekking, met het middelpunt van gravitatie der wereldligchamen overeenkomende, wordt daargesteld. De volgende verklaring schijnt naauwkeuriger.

In vloeistoffen moeten de moleculen op zoodanigen afstand van elkander blijven, dat de aantrekking en afstooting elkander wederkeerig veronzijdigen. Dit is alleen dan mogelijk, wanneer de moleculen in evenwijdige lagen gerangschikt zijn, op die wijze, dat ieder molecule door b. v. twaalf anderen omgeven is, ten naastenbij zoo als gewoonlijk de kanonkogels van gelijke grootte worden opgestapeld. Deze rangschikking is ook dan niet in het minst gestoord wanneer het vocht vlak eindigt. Elk molecule is hier naar alle zijden aan volkomen gelijke inwerkingen onderworpen, alle moleculen zijn hier op volkomen gelijken afstand van elkander. Deze rangschikking kan men de *normale* plaatsing der moleculen noemen. Wanneer een gedeelte van de begrenzende vlakte eene kromming ondergaat, dan kunnen de moleculen niet meer op denzelfden afstand van elkander blijven, en zulk eene plaatsing kan men de *abnormale* noemen.

Zoodra door eene of andere uitwendige kracht de normale plaatsing der moleculen is opgeheven, wordt ook het tot nu toe volkomene evenwigt verbroken, er ontstaat eene spanning, welke streeft, om de verlorene evenwijdige plaatsing der lagen te herstellen, en welke de deeltjes der vloeistof onmiddelijk weder in de normale plaatsing doet terugkeeren, zoodra de storende invloed ophoudt te werken. Wanneer een staafje, door de vloeistof bevochtigd, in dezelve gedompeld wordt, dan kan men, door het langzaam daaruit te trekken, op de oppervlakte van het vocht een heuveltje daarstellen, dat, na losgescheurd te zijn, onmiddellijk weder tot den vlakken vorm terug keert. Dit zou nu wel is waar een gevolg der zwaarte kunnen zijn, maar hetzelfde grijpt ook plaats bij omgekeerden stand der oppervlakte. Indien men een buisje, welks diameter niet meer dan drie lijnen bedraagt, en dat enkel aan de eene zijde open is, geheel met water vult, dan kan men het omkeeren, zonder dat het water uitvloeit. Het stelt eene naar beneden hangende oppervlakte daar, op welke men, even als vroeger, heuveltjes kan trekken, die zich, na het losrukken, tegen de rigting der zwaarte in, weder in de oppervlakte terug begeven.

Eene drupvormige vloeistof streeft derhalve, om in een plat vlak te eindigen. Nu kan evenwel eene rondom vrije massa niet door een enkel vlak begrensd te worden. Ware zij door platte vlakken begrensd, dan zouden de kanten door de spanning der moleculen in dezelve spoedig afgeplat worden; maar is de massa door eene gebogene oppervlakte begrensd, wier kromming niet op alle plaatsen gelijk is, dan zou er aan de sterker gebogene

gedeelten der oppervlakte noodwendig ook eene sterkere spanning plaats grijpen, ten gevolge van welke eene volkomen kogelvormige gedaante moest worden daargesteld. Op deze wijze verkrijgen ook de blazen hare ronde gedaante.

De aan de oppervlakte gelegene moleculen van eene rondom vrije drupvormige vloeistof, stellen derhalve een netwerk daar, dat het inwendige der massa krachtig zamendrukt. Wanneer men eene kleine zeepbel heeft gemaakt, dan behoudt deze hare grootte, wanneer men de opening van het pijpje toesluit; doch zoodra men dit opent, wordt de zeepbel steeds kleiner en kleiner. Zoo de lucht in deze zeepbel niet door de haar omgevende laag vochts zamengedrukt geweest ware, zoo zij niet meer verdigt ware geweest dan de omringende dampkring, dan zou zij in de zeepbel blijven, en niet, tegen de drukking van den dampkring in, in het pijpje gedreven worden.

Wanneer kwikzilver in een glas gebragt wordt, dan staat het, hoezeer ook onmerkbaar, van de wanden verwijderd; maar wanneer men op hetzelve water of boom-olie giet, dan dringt dit in deze tusschenruimte in. Ook dringt er bij slecht uitgekookte barometers door deze tusschenruimte lucht in de ledige ruimte. Het kwikzilver stelt dus in het glas eenen vrij liggenden droppel daar, wiens gedaante bepaald wordt door de wanden van het vat. Deze droppel eindigt van boven met eene horizontale oppervlakte, die echter niet tot aan den wand kan reiken, omdat de scherpe kant van den droppel, gelijk wij boven gezien hebben, afgerond wordt.

Brengt men eenen droppel kwikzilver in een volkomen cilindrisch glazen buisje, dat horizontaal geplaatst is, dan vormt hij eenen aan beide einden afgeronden cilinder. Er kan echter volstrekt geene beweging ontstaan, omdat de welving aan beide einden even sterk is.

Doch zoo het buisje kegelvormig (Fig. 89) is, dan is de droppel kwikzilver aan het naauwere einde meer gekromd; de spanning der abnormaal geplaatste moleculen werkt hier dus sterker dan aan het andere einde, en het gevolg van deze meerdere spanning is, dat het kwikzilver naar het wijdere einde bewogen wordt.

Fig. 89.



Indien men een buisje geheel met kwikzilver vult, hetzelve horizontaal houdt en het eene einde van den kwikzilverdraad met een droppel kwikzilver laat zamenvloeijen, dan neemt de droppel in omvang toe, en het kwikzilver treedt ten laatste geheel uit het buisje en vereenigt zich met den droppel. De reden daarvan is gemakkelijk te begrijpen. Door de sterke kromming van den kwikcilinder ontstaat er van deze zijde eene veel sterker drukking op de massa, dan van den kant des droppels.

Zoo men een glazen buisje loodregt in kwikzilver dompelt, zal dit in het buisje lager staan dan van buiten, omdat de sterke

concave oppervlakte in het buisje deprimerend werkt. Het is ook duidelijk dat de drukking des te grooter moet zijn, hoe naauwer de buis is.

Wanneer eenig vocht aan de wanden van een vat hangt, en ze bevochtigt, dan kan het niet meer, als in het vorige geval, beschouwd worden als één groote droppel, en derhalve kan de oppervlakte ook niet, gelijk daar, eene concave gedaante aannemen. De moleculen van den wand van het vat, die met dat vocht in aanraking zijn, werken op het vocht eveneens als de moleculen daarvan op elkander werken. De wanden van het vat zijn bij gevolg slechts als eene onbuigzame voorzetting van het vocht te beschouwen. De boven het vocht in het vat aanwezige lucht moet dienvolgens beschouwd worden als eene blaas, die van onder door het vocht en van ter zijde door de wanden van het vat begrensd is. Indien de oppervlakte volkomen effen ware, zou de blaas, ter plaatse waar het vocht en de wand elkander raken, een scherpen kant hebben, die aldra door de wederkeerige aantrekking der moleculen, van den wand en van het vocht moest worden afgerond; doch daar de deeltjes van het vat vast zijn, schiet er niets over, dan dat de oppervlakte van het vocht eene concave gedaante aanneme, terwijl er moleculen van het vocht langs de wanden opstijgen. Bij de blaas echter bewerkt de spanning van de anomaal gelegen moleculen des waters eene drukking op de ingesloten lucht; en zoo zal dan ook hier de concave oppervlakte der vloeistof tegen de lucht der blaas, derhalve naar boven, eene drukking uitoefenen.

Een droppel waters in eene horizontale cilindrische glazen buis, zal eenen aan beide einden concaven cilinder daarstellen, die zich niet beweegt, omdat de concaviteit van beide einden gelijk is. Zoo het buisje kegelvormig is, dan is natuurlijk het eene holle uiteinde sterker concaaf dan het andere, en door de overwegende spanning van het sterker gekromde, wordt het water naar het naauwere gedeelte der buis heengevoerd. Eveneens laat zich uit de werking der concave oppervlakte, het opstijgen des waters in een loodregt in het water gedompeld buisje, verklaren.

Fig. 88.

Indien een holle glazen kogel op het water drijft, dan begint dit reeds op eenen afstand van meer dan 6 lijnen van den kogel, zich rondom dezen te verheffen. Zoo men eenen tweeden glazen kogel op eenen duim afstands van den eersten in het water brengt, naderen de kogels elkander eerst langzaam, en vervolgens steeds sneller en sneller totdat zij eindelijk elkander raken.


Fig. 89.


Fig. 90.

Waren de beide kogels vast geweest, dan zou het water,

ten gevolge van het streven tot daarstelling van een vlak, tusschen de beide kogels omhoog gerezen zijn; doch dewijl zij bewegelijk zijn, moet de aan hun als het ware gehechte en door hare zwaarte zinkende watervlakte, die zich tusschen hen bevindt, de kogels naar elkander trekken.

44 **Veerkracht der vloeistoffen.** Ook de drupvormig vloeibare ligchamen zijn in zeker opzigt veerkrachtig, want zij laten zich door eene zeer sterke drukking, ofschoon ook zeer weinig, tot een kleiner volumen zamenpersen, en wanneer de drukking ophoudt, hernemen zij hun oorspronkelijk volumen. Het eerst zijn er door OERSTEDT, later door COLLADON en STURM proeven over de zamenpersbaarheid der vloeistoffen in het werk gesteld. De nadere beschrijving der door hem hieromtrent bewerktstelligde proeven, zou ons te verre voeren. Door de drukking van ééne atmospheer (van deze uitdrukking zal men in het volgende hoofdstuk eene verklaring vinden) kan men het kwikzilver tot ongeveer 3, het water tot 48 millioenste gedeelten van zijn volumen zamenpersen.

VIJFDE HOOFDSTUK.

Over het evenwigt der luchtvormige vloeistoffen en de drukking van den dampkring.

45 De *lucht* is een ligchaam, dat niet onmiddellijk zoodanig op de zinnen werkt als de vaste en drupvormig vloeibare ligchamen, maar zij doet zich aan ons onder zoovele verschijnselen op de aarde en op de wateren voor, dat wij niet naar andere bewijzen behoeven te zoeken. In alle klimaten ontstaan onweders, en stormen op alle zeeën; de lucht omgeeft derhalve den geheelen aardbol, overal stelt zij eene laag van groote dikte daar, want overal, boven dalen zoo wel als boven bergen, ziet men wolken henentrekken, die door den wind worden voortgedreven; boven de wolken ziet men de prachtvolle kleur van den hemel, hetgeen een bewijs is van de hoogte der lucht, gelijk de kleur van den Oceaan de diepte van het water bewijst. Wanneer er geene lucht ware, zou de geheele hemel kleur- en glansloos zijn; hij zou zich voordoen als een zwart gewelf, waarop men bij den dag de sterren even helder zou zien schitteren als bij den nacht. Deze groote massa lucht welke over de aarde is uitgebreid, en welke zich boven de toppen der hoogste bergen uitstrekt, draagt den naam van *Dampkring* of *Atmospheer*. De hoogste top van den Hymalaya is ter naauwer nood eene mijl boven het waterpas van de zee verheven, terwijl, gelijk wij zullen zien, de lucht zich ten minste tot een hoogte van 6 of 7 mijlen uitstrekt.

De ontdekkingen der scheikunde van de vorige eeuw hebben

ons onderscheidene ligchamen doen kennen, die, hoewel in aard van de lucht verschillende, toch dezelfde physische eigenschappen bezaten. Men noemde ze *luchtsoorten*, en sprak van eene *mephitische lucht*, eene *brandbare*, eene *vaste lucht*. Tegenwoordig noemt men ze *gazen*, *gasvormige ligchamen* of *veerkrachtige vloeistoffen*.

De gazen zijn, even als de vaste en drupvormige ligchamen, aan twee verschillende krachten onderworpen, aan de zwaartekracht en de moleculaire krachten.

Reeds in zeer vroegen tijd, ja reeds vóór ARISTOTELES, ver- 46
moedde men, dat de lucht zwaarte bezat. Deze waarheid werd echter eerst in 1640 door GALILÉI bewezen, en eenigen tijd later door de schoone proeven van TORRICELLI bevestigd. Door de volgende proeven kan men de zwaarte der lucht regtstreeks aantoonen. Men maakt eenen bol, met eene kraan voorzien, door middel van de luchtpomp luchtledig, en hangt denzelven aan den eenen arm van eene balans; aan de andere zijde legt men gewigten op, totdat de balans in evenwigt is. Wanneer men nu de kraan opent, dan vult de ballon zich weder met lucht, het evenwigt wordt verbroken, en de balans slaat naar de zijde van den ballon door. Aan de andere zijde moet men op nieuw gewigten opleggen, om het evenwigt weder te herstellen, en wel juist zoo veel, als de lucht in den bol weegt. Voor eenen bol van een kubieken palm inhoud, bedraagt het verschil der gewigten meer dan 1 wigtje, waaruit als eerste benadering volgt, dat 1 kubieke palm lucht, onder gewone omstandigheden, meer dan 1 wigtje weegt, dat is, dat het water niet volkomen 1000 maal zwaarder is dan gewone lucht.

In plaats van den met eene kraan voorzienen bol, kan men zich van den volgenden zeer goedkoopen toestel bedienen, welke bodien nog het voordeel heeft, dat hij, bij gelijken omvang van den ballon, minder weegt dan de laatst vermelde. Men neme eenen bol van niet zeer dik glas, en met een niet zeer dikken, regten hals, (Fig. 94.) De hals worde zorgvuldig met eene goed sluitende kurk toegestopt, die in het midden doorboord is; dit gat moge bijv. 2^{mm} diameter bezitten, over de kurk wordt nu gewaschte taf gebonden zoo als men in Fig. 91, en meer vergroot in Fig. 92 ziet. Op deze wijze is het inwendige van den bol volkomen van de uitwendige lucht afgesloten. Naast de plaats, die de opening in de kurk bedekt, maakt men in de gewaschte taf twee insnijdingen, zoo als men in Fig. 92 ziet, en daardoor wordt de ballon in zeker opzigt gesloten met eene luchtklep, door welke de lucht uit den bol naar buiten kan treden, doch niet daar binnen. Bij den aanvang der proefneming weegt

Fig. 91.



Fig. 92.



men eerst den met lucht gevulden bol, en brengt denzelven dan onder den klok van de luchtpomp, dan zal bij het uitpompen ook de lucht uit den bol treden. Wanneer hij op deze wijze is ontledigd, dan weegt men denzelven nogmaals, en zal nu bevinden, dat hij ligter geworden is.

47 De moleculaire krachten werken bij gazen geheel anders, dan bij vaste en drupvormig vloeibare ligchamen. Wij hebben gezien, dat door deze krachten de moleculen der vaste ligchamen volkomen vast te zamen gehouden worden, en wel zoodanig, dat hare wederkeerige plaatsing geene verandering ondergaat. Ook houden zij de moleculen der drupvormig vloeibare ligchamen bijeen; doch slechts zoo, dat deze nog vele vrijheid bezitten, om zich in alle rigtingen over elkander te bewegen; bij de luchtvormige vloeistoffen echter werken de moleculaire krachten afstootend; de moleculen van gasvormige ligchamen streven, om zich van elkander te verwijderen, en inderdaad bewegen zij zich zoo verre van elkander, totdat uitwendige hinderpalen eene verdere uitzetting onmogelijk maken. De lucht, die in eenig vat besloten is, drukt derhalve onophoudelijk tegen de wanden.

Dit streven van de lucht, om zich uit te zetten, kan men ligt door de navolgende proeve aantoonen. Men plaatst onder den klok van de luchtpomp eene slechts weinig lucht bevattende en dus gerimpelde dierlijke blaas, waarvan de opening vast toegebonden is. Na eenige pompslagen reeds wordt de blaas opgezet, en raakt eindelijk zoo strak gespannen, alsof men met alle geweld lucht in dezelve had geblazen. Wanneer men vervolgens de lucht weder in den recipient laat treden, valt de blaas weder gerimpeld te zamen. De lucht die in de blaas besloten is, streeft derhalve werkelijk om zich uit te zetten, en door de omringende lucht wordt haar wederstand geboden. In plaats van de blaas zou men ook een zeer dun, met eene kurk gesloten glas onder den klok kunnen plaatsen, dan zoude de stop om hoog geslingerd, of het glas verbrijzeld worden, indien namelijk de stop niet te vast zit, of het glas niet te sterk is. Deze drukking welke de lucht uitoefent op de wanden der vaten waarin zij besloten is, noemt men hare *veerkracht*, *elasticiteit*, hare *spankracht*, *tensie*, *expansiekracht*.

Eene veer vertoont slechts dan veerkracht, wanneer men haar zamendrukt, zij verliest hare spanning, zoodra zij tot haren oorspronkelijken toestand is teruggekeerd. De lucht echter bezit altijd expansiekracht, voor haar bestaat er geen oorspronkelijk volumen, dewijl zij altijd eene grootere ruimte tracht te beslaan. Wanneer men een kubieken palm lucht in eene ledige ruimte van onderscheidene kubieke duimen bragt, dan zou zij zich door de geheele ruimte gelijkmatig verbreiden, zij zoude altijd nog streven om zich uit te zetten, en zoude nog drukking op de wanden uitoefenen.

Uit het streven van de lucht, om eene zoo groot mogelijke

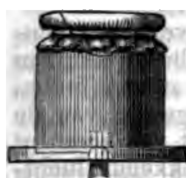
ruimte te beslaan, berust de inrigting van de luchtpomp, die wij reeds meermalen hebben genoemd en die ons spoedig nader te beschrijven staat. Indien de lucht geene spankracht, geene veerkracht in den boven aangeduiden zin, had, zoude zij zich niet uit den recipient van de luchtpomp kunnen verbreiden; zonder het streven van de lucht om zich uit te zetten, zou zij niet uit den ballon, Fig. 92 kunnen ontwijken, zelfs dan niet, wanneer men ook de van buiten op de klep werkende drukking van de lucht wegnam.

Uit de expansiekracht der gazen volgt, dat zij niet door eene vrije vlakte kunnen begrensd zijn, zoo als dit bij de vochten het geval is. Op de lucht van den dampkring werken twee krachten, die elkander wederzijds in evenwigt houden, de zwaarte- en de expansiekracht. Door de zwaarte worden de deeltjes der lucht naar de aarde aangetrokken, deze kracht openbaart derhalve een streven, om de lucht op de oppervlakte van de aarde te verdigten, en dit streven wordt door de expansiekracht tegen gewerkt. De dampkring is waarschijnlijk daarom begrensd, omdat bij eenen zekeren graad van verdunning de expansiekracht zoodanig vermindert, dat de enkele zwaarte van de deeltjes der lucht reeds voldoende is, om derzelver verdere verwijdering van de aarde te voorkomen.

Drukking van de lucht. Wanneer eenmaal de algemeene voorwaarden van evenwigt vastgesteld zijn, kunnen wij door regtstreeksche proeven bewijzen, dat alle onderste luchtlagen door de bovenste gedrukt worden, en dat de grootte van deze drukking verandert, naar mate men zich meer en meer boven de oppervlakte van de zee verheft. 48

Men plaatse op het bord van de luchtpomp eenen glazen cilinder (Fig. 93) met eenigzins dikke randen, welke van boven door eene dierlijke blaas gesloten is, die strak gespannen en goed om de rand vastgebonden is; de blaas ondergaat aan beide zijden eene gelijke drukking en stelt derhalve een plat vlak daar. Wanneer men nu op de eene of andere wijze meer lucht in den cilinder blies, dan zou zich de blaas naar buiten uitzetten; wanneer men integendeel de lucht uit den cilinder uitpompt, dan krijgt de uitwendige drukking van de lucht de overhand, en drukt de blaas naar binnen. Het laatste kan men ligtelijk door middel van de luchtpomp bewerkstelligen. Bij de eerste pompslagen reeds wordt de blaas naar binnen gedrukt; hoe meer men uitpompt, des te meer neemt de welving naar binnen toe. Wanneer men, indien de blaas op deze wijze zeer sterk gespannen is, met een eenigzins puntig ligchaam op dezelve stoot, dan breekt zij in duizend stukken, waarbij men eenen knal als van een pistoolschot hoort. Deze knal wordt teweeg gebragt door het snelle indringen van de lucht; uit de kracht van dit indringen kan men zich een begrip maken, van de grootte der drukking van de lucht.

Fig. 93.



Wanneer men den geheelen toestel zoodanig veranderd had, dat de blaas eene schuinsche plaatsing had gehad, of dat de drukking der lucht van onderen naar boven had gewerkt, dan zou men hetzelfde uitwerksel verkregen hebben, omdat de lucht naar alle zijden op dezelfde wijze drukt.

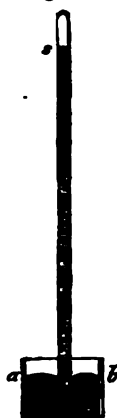
Deze proeve schijnt zeer opmerkelijk, omdat men moeijelijk kan begrijpen, hoe de lucht, die zich in eene kamer bevindt, eene zoo buitengewone drukking kan uitoefenen. Door het gewigt der luchtkolom, die op de blaas rust, en zich van dezelve tot aan den zolder van de kamer uitstrekt, kan deze werking niet worden te weeg gebragt, want zelfs door eene kolom waters van dezelfde hoogte zoude zij niet te weeg gebragt kunnen worden. Wanneer men de proeve onder den vrijen hemel had bewerkstelligd, dan had de blaas natuurlijk de drukking van eene luchtkolom moeten weerstaan, wier hoogte gelijk is aan de hoogte van den geheelen dampkring. Deze zelfde drukking werkt evenwel ook nog in de kamer, want de lucht van de kamer wordt toch ook door de volle drukking van den dampkring gedrukt.

49 **Het meten van de drukking der lucht.** Dewijl de lucht den geheelen aardbol omgeeft, drukt zij ook op alles juist zoo, als zij op de blaas drukt. Zij drukt gelijkelijk op alle vaste landen, en op de wateren. Wanneer men het eene uiteinde eener buis in een vat met water dompelt, dan zal het vocht in de buis zoo hoog klimmen als daar buiten, omdat de drukking van de lucht in de buis eveneens op het nivêau van het vocht drukt, als buiten de buis. Wanneer men echter een gedeelte van de lucht uit de buis zuigt, dan rijst het vocht in dezelve des te meer, hoe langer men zuigt; door dit zuigen wordt namelijk de drukking van de lucht in het inwendige van de buis verminderd, terwijl de uitwendige drukking van de lucht onveranderd blijft. Het overwigt van de uitwendige drukking der lucht nu, perst het vocht in het binnenste der buis in de hoogte, totdat het gewigt der opgestegen kolom vochts met dit overwigt evenwigt maakt. Indien men het inwendige van de buis volkomen luchtledig maakt, dan moet het water zoo hoog stijgen (indien ten minste de buis hoog genoeg is,) dat het gewigt van de opgestegen vochtkolom gelijk is aan het gewigt van eene tot aan de grenzen van den dampkring zich uitstrekkende luchtkolom van dezelfde basis. Op deze wijze kan men het gewigt der geheele luchtkolom bepalen, hoe hoog zij ook zijn moge.

Aan de pompenmakers van *Florence* zijn wij de eerste ontdekking van deze gewigtige wet verschuldigd. Toen zij eens in eene pompbuis het water boven de 32 voeten wilden doen opstijgen, zagen zij tot hunne groote verwondering, dat het niet hooger opklom. Toen ter tijd verklaarde men het opstijgen der vloeistoffen door te zeggen, dat de natuur eenen *horror vacui* had. GALILÉI was met zoodanige verklaring niet voldaan, en toen hem de opmerking der pompenmakers werd medegedeeld, kwam hij terstond op het vermoeden, dat de zwaarte der lucht

de ware oorzaak van dit verschijnsel zou zijn. Zijn leerling TORRICELLI leverde daarvoor beslissende bewijzen. Hij kwam ten naastenbij tot het volgende resultaat. Om twee onderscheidene vochtkolommen elkander in evenwigt te doen houden, moeten de hoogten der beide kolommen zich omgekeerd aan hare digtheid verhouden. Het kwikzilver weegt ten naastenbij 14 maal zwaarder dan water. Wanneer nu de drukking der dampkringslucht eene waterkolom van 32 voet kan dragen, dan moet zij bijgevolg ook eene kolom kwikzilver van $\frac{32}{14}$ voet, dat is van ten naastenbij 28 duim, kunnen dragen. Deze proef is ligt te nemen: men vult eene glazen buis, die ongeveer 30 duim lang en aan het eene einde gesloten is, met kwikzilver, sluit het opene einde met den vinger toe en keert de buis om. Wanneer men het met den vinger toegesloten einde in een vat met kwikzilver dompelt, Fig. 94, en dan den vinger verwijdert, zal het kwikzilver weldra eenige duimen dalen, en wel zoo verre, dat de hoogte van het kwikzilver in de buis boven het niveau van het kwikzilver in het vat zoo hoog is, als uit de boven aangevoerde beschouwingen volgt. De in de buis zich bevindende kolom kwikzilver kan men beschouwen als een tegenwigt tegen de drukking van de dampkringslucht. Deze toestel is de barometer. De ledige ruimte boven de kolom van kwikzilver van de barometer, is het *luchtledig van* TORRICELLI.

Fig. 94.



Wij kunnen nu de tot hiertoe behandelde resultaten naauwkeuriger uitdrukken. De loodregte hoogte van het niveau *s* in de buis, boven het niveau *a b*, Fig. 94, noemt men de *barometerhoogte*. Zij is niet op alle plaatsen en ten allen tijde dezelfde. Aan het strand bedraagt zij gemiddeld 76 duim, of, wat daar zeer nabij komt, 28 parijsche duimen. Zulk eene kwikzilverkolom die eene basis van een vierkanten duim heeft, heeft eenen kubieken inhoud van 76 kubieke duimen. Daar nu 1 kubieke duim kwikzilver 13,59 wigtjes zwaar is, is de drukking van deze kolom op hare basis 75 × 13,59 wigtjes = 1,033 ponden. De kolom van dampkringslucht, die op den spiegel der zee op eenen vierkanten duim basis drukt, moet derhalve op deze oppervlakte drukken met een gewigt van 1,033 ponden. Men kan deze berekening nog verder uitstrekken, en het gewigt der geheele luchtmassa, welke de dampkring daarstelt, bepalen. Zoo vele vierkante duimen namelijk de oppervlakte der aarde beslaat, zooveel maal 1,033 ponden weegt de massa der lucht.

Zamenstelling van den barometer. Men heeft den barometer zeer 50
verschillende gedaanten gegeven, al naarmate van het doel dat men zich daarmede voorstelt. Fig. 95 stelt den gewonen barometer voor; deze bestaat uit eene buis, die van onderen omgebogen is, met een wijder uiteinde eindigt, en op eene plank bevestigd

Fig. 95.



is. De schaal ter bepaling van de hoogte, is gewoonlijk van metaal. Wanneer het vat een weinig te wijd is, naar evenredigheid van den diameter der buis, dan zijn de verschillen in de hoogte der kolom bijna zonder invloed op het niveau van het kwikzilver in het vat, zoo dat men, wanneer het niet op groote naauwkeurigheid aankomt, dit niveau als onveranderlijk kan beschouwen. Bij deze barometers, van welke men zich tot naauwkeurige onderzoekingen niet kan bedienen, is de schaal gewoonlijk ook slechts aan het bovenste gedeelte van het werktuig aangebragt.

Op reizen bedient men zich tegenwoordig nog bijna enkel van den barometer van GAY-LUSSAC, omdat deze naauwkeurige resultaten geeft, gemakkelijk waargenomen, en, boven alles, gemakkelijker vervoerd kan worden dan alle andere barometers. Het opene been heeft slechts eene capillaire opening, die groot genoeg is, om de lucht vrijen toegang te verleenen, maar te klein, dan dat het kwikzilver door dezelve naar buiten zou kunnen vloeijen. Men kan den barometer dus omkeeren, zonder dat men behoeft te vreezen, dat het kwikzilver verloren zou gaan. Bij dezen barometer heeft de onderste kwikzilverkolom, die aan de drukking van den dampkring is blootgesteld, volstrekt geene bepaalde hoogte; het nulpunt, van hetwelk de hoogte van de barometerkolom gemeten moet worden, rijst en daalt. Ten einde ze gemakkelijker te kunnen vervoeren, zijn de hevelbarometers gewoonlijk in eene houten buis bevestigd (Fig. 96), die, gesloten zijnde, de gedaante van eenen stok vertoont.

Fig. 96.



Welken vorm men aan de barometers ook geven moge, altijd moet er toch aan twee voorname voorwaarden voldaan zijn, zoo het werktuig met naauwkeurigheid de grootte van de drukking der lucht zal aangeven: vooreerst moet men de hoogte van de kwikzilverkolom naauwkeurig kunnen meten, en zulks is alleen mogelijk, wanneer de buis volkomen loodregt geplaatst is. De schaal is opgemaakt, of op eene strook van geel koper, die in de plank, op welke de buis is bevestigd, is ingedreven, of zij is op de buis zelve gesneden.

De ruimte boven de kwikzilverkolom moet volkomen luchtledig zijn. Dit doel kan men slechts daardoor bereiken, dat men het kwikzilver in de buis kookt, want daardoor alleen is het mogelijk, om alle lucht en alle vochtigheid, die aan de wanden van het glas hechten, uit te drijven. Het uitkoken van den barometer is eene bewerking die veel oefening en handigheid vordert. Wanneer er in het luchtledig van TOR-

RICELLI nog een weinig luchts is overgebleven, dan ziet men dit daardoor, dat bij het omkeeren van de buis deze niet geheel en al met kwikzilver gevuld wordt, maar dat er een klein luchtblaasje aan het boveneinde van de buis overblijft. De onnaauwkeurigheid, die daaruit ontstaat, is des te geringer, hoe grooter de ruimte van het luchtledig is.

Eindelijk moet het kwikzilver volkomen zuiver, en de diameter van de buis niet te klein zijn. Wanneer de buis te naauw is, dan oefent de adhaesie en wrijving van het kwikzilver op de wanden van het glas eenen zoo aanmerkelijken invloed uit, dat de kwikzilverkolom dikwijls blijft staan op eene hoogte, die nu eens hooger, dan lager is, dan zulks naar evenredigheid van de drukking der lucht het geval moest zijn. Indien men in zoodanig geval een weinig aan den barometer stoot, dan ziet men oogenblikkelijk de kwikzilverkolom eenigzins rijzen of dalen, al naarmate de vroegere stand te laag of te hoog was, omdat door den stoot de belemmering der beweging overwonnen wordt.

Over de verschillen van den barometer die van de weersgesteldheid afhangen, zal later gehandeld worden.

Grootte van de drukking der lucht. Wij hebben boven in N°. 49 51
nagegaan, hoe groot de drukking van de lucht is, die aan den barometerstand van 760ᵐᵐ beantwoord. Volkomen op dezelfde wijze kan men ook de grootte van de drukking der lucht voor iedere barometerhoogte berekenen. De resultaten zijn die, welke men in de onderstaande tabel vindt uitgedrukt:

HOOGTE VAN DE KWIKZILVERKOLOM.	DRUKKING OP EENE VIERKANTE EL.	HOOGTE VAN DE KWIKZILVERKOLOM.	DRUKKING OP EENE VIERKANTE EL.
500ᵐᵐ	6793 pd.	650ᵐᵐ.	8381 pd.
510 „	6929 „	660 „	8967 „
520 „	7065 „	670 „	9105 „
530 „	7201 „	680 „	9238 „
540 „	7336 „	690 „	9374 „
550 „	7472 „	700 „	9510 „
560 „	7608 „	710 „	9646 „
570 „	7744 „	720 „	9782 „
580 „	7880 „	730 „	9918 „
590 „	8016 „	740 „	10054 „
600 „	8152 „	750 „	10189 „
610 „	8287 „	760 „	10330 „
620 „	8423 „	770 „	10461 „
630 „	8559 „	780 „	10597 „
640 „	8695 „	790 „	10733 „

De oppervlakte van het menschelijke ligchaam bedraagt ongeveer 1 vierkante el; wij zien derhalve uit deze beschouwingen, aan welk eene verbazende drukking wij onophoudelijk zijn blootgesteld; en evenwel gevoelen wij deze drukking niet, omdat zij van alle zijden gelijkmatig werkt, en omdat al de

lucht, in ons ligchaam bevat, met de uitwendige lucht volkomen in evenwigt staat.

Op den top van den Mont-d'Or bedraagt de barometerhoogte slechts nog 600' millimeters; derhalve wordt bij de reizigers, die van het waterpas der zee tot deze hoogte opklimmen, langzamerhand, naarmate zij hooger en hooger komen, een gewigt van 2173 pond weggenomen; nog meer, wanneer zij den top van den Etna of van den Libanon beklimmen. De vermindering van de drukking der lucht op hooge bergen, brengt geheel eigenaardige uitwerkselen op het menschelijke ligchaam te weeg, dat voor deze verdunde lucht niet geschapen is. Zelfs sterke menschen ondervinden onwelzijn, matheid en borstbeklemming.

52 **Pompen.** Uit de drukking van de lucht kan men eene menigte van verschijnselen verklaren, die men dagelijks in de gelegenheid is van waar te nemen. Wanneer men met den mond aan het boveneinde van eene in water gedompelde buis zuigt, dan rijst het water binnen de buis omhoog, omdat er, door het zuigen, in het bovenste gedeelte eene ruimte, met verdunde lucht gevuld, ontstaat; zoodat derhalve de drukking der lucht die op het uitwendige watervlak werkt, het water in de buis omhoog drijft. Het opklimmen van het water kan men ook daardoor bewerken, dat men binnen in de buis eenen zuigerstang aanbrengt, door het optrekken van welken insgelijks eene met verdunde lucht gevulde ruimte ontstaat. Daarop berust de inrigting van de pompen.

De *zuigpomp* bestaat uit eene *pompbuis a*, Fig. 97, eenen *koker b*, eenen *zuiger p*, eenen *pompstok s* en drie *kleppen r*, *t* en *l*, die zich van beneden naar boven openen. De klep *r* is in den grond van den koker, de tweede *t* in den zuiger, en de laatste *l* aan het ondereinde van de stang. De pombuis steekt in het water, dat men omhoog voeren wil, en de zuigerstang sluit luchtdigt in de buis *e*. Wanneer bij het begin der beweging de zuiger omhoog getrokken wordt, sluit zich de klep *t*; *r* en *l* daarentegen openen zich; en wel wordt *l* geopend door de verdigting van de lucht boven den zuiger; *r* door de verdunning der lucht beneden den zuiger. Dewijl nu de drukking van de lucht in de pompbuis te gelijker tijd vermindert, klimt het water in de pompbuis, ten gevolge van de vermeerderde drukking der buitenlucht. Bij het dalen van den zuiger wordt de onderste klep gesloten. De lucht in den koker beneden den zuiger wordt zamengeperst, opent de klep *t*, en komt zoo door den zuiger heen in het bovenste gedeelte van den koker. Wanneer de zuiger

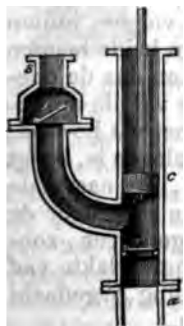
Fig. 97.



ten tweede male omhoog getrokken wordt, klimt het water weder eenigzins hooger in de pompbuis, en door de klep *l* wordt weder eene zekere hoeveelheid luchts voortgedreven. Eindelijk, na een zeker aantal pompslagen, rijst het water zelfs tot boven de klep *r* en drukt de klep *t* omhoog. Spoedig is nu al de lucht uit de pomp gedreven, en de kleppen worden dan nog slechts door het water omhoog gedrukt. Bij elke daling van den zuiger, komt er eene hoeveelheid waters door de klep *t*, en telkens als de zuiger omhoog getrokken wordt, komt er eene nieuwe hoeveelheid in de pompbuis en in den koker. De kracht, die er aangewend moet worden, om den zuiger omhoog te voeren, moet eensdeels de wrijving overwinnen, en voorts nog de drukking van eene kolom waters, wier basis gelijk is aan de oppervlakte van den zuiger, en wier hoogte gelijk staat met den loodregten afstand van de uitstroomingsopening in de pompbuis, van het waterpas van den bak, waarin de pombuis gedompeld is.

Opdat de pomp bruikbaar zij, moet het water de eerste klep *r* kunnen bereiken. De plaatsing van deze klep is bijgevolg afhankelijk van den graad van verdunning der lucht, welke men tusschen de kleppen *t* en *r* kan te weeg brengen. Wanneer er bij den laagsten stand van den zuiger in het geheel geene ruimte bestond tusschen *r* en *t*, dan zou er tusschen deze beide kleppen eene volstrekt luchtledige ruimte gemaakt worden, en de klep *r* zou dan 32 voet boven het watervlak kunnen geplaatst zijn. Maar daar het onmogelijk is, om eenig verlies beneden den zuiger geheel en al te voorkomen, mag ook de klep *r* niet juist 32 voet boven het watervlak van het reservoir gelegen zijn. Men moet zorg dragen, dat de nadeelige ruimte zoo klein mogelijk zij in verhouding tot den inhoud van den koker. Indien b. v. de nadeelige ruimte de helft van den geheelen inhoud van den koker (afgerekend de door den zuiger ingenomene ruimte) besloeg, dan zoude men de lucht tusschen *t* en *r* slechts tot op de helft van de drukking des dampkrings kunnen verdunnen, en dan zou bijgevolg de klep *r* slechts 16 voeten boven het watervlak van den vergaderbak kunnen geplaatst zijn.

Fig. 98.



De *zuig*- en *perspomp*, Fig. 98, bestaat uit eene pompbuis *a*, eene stijgbuis *S*, eenen koker *C* en eenen massieven zuiger *p*; zij heeft slechts twee kleppen, *r* en *l*. Bij het optrekken van den zuiger dringt het water door de klep *r* naar binnen, bij het dalen van den zuiger wordt *r* gesloten, en het opgerezen water wordt door *l* omhoog gedrukt.

De Hevel. Wanneer men een drinkglas, waar- 53
van de rand glad is (liefst een geslepen glas) geheel met water vult, daarop een papier legt,

en vervolgens het glas omkeert, dan vloeit het water er niet uit; de drukking der lucht die tegen de onderste oppervlakte van het papier werkt, belet het vallen van het water. Het papier is alleen noodig, om het glas te kunnen omkeeren, en te verhinderen, dat het water aan de zijde uitvloeit, en er in plaats daarvan luchtblazen in het glas dringen. Wanneer de onderste opening klein genoeg is, zoodat men dit uitvloeijen niet behoeft te vreezen, zoo als zulks bij de *wijnroeijers-pomp* het geval is, dan is het papier niet noodig. De wijnroeijerspomp is een gewoon buisvormig vat, Fig. 99, hetwelk van boven en beneden eenigzins naauwer en aan beide einden open is. Indien men het, terwijl de beide openingen niet gesloten zijn, geheel in eene vloeistof dompelt, dan vult het zich daarmede, en zoo men nu de bovenste opening met den duim toesluit, dan kan men het werktuig omhoog heffen zonder dat het daar in bevatte vocht uitvloeit.

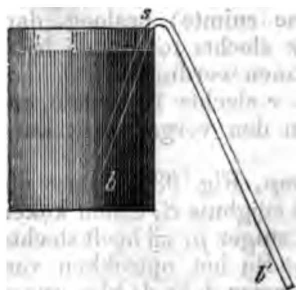
Fig. 99.



De *hevel* is eene gebogene buis *b s b'*, waarvan de beide beenen eene ongelijke lengte hebben. Wanneer het korte been in eene vloeistof gedompeld, en de geheele buis met die vloeistof gevuld is, dan vloeit deze onophoudelijk aan het uiteinde *b'* van het lange been, dat lager ligt dan *b*, naar buiten, en men kan dus gemakkelijk een vat door middel van den hevel ontledigen.

De werking van den hevel is ligt te verklaren. Aan de eene zijde streeft de waterkolom *s b'*, aan de andere zijde de waterkolom van *s* tot aan de oppervlakte van de vloeistof in het vat, om naarmate van hare zwaarte te vallen; de zwaarte van de in beide beenen aanwezige waterkolommen werkt de drukking der lucht tegen, die aan de eene zijde op de opening *b'*, aan de andere zijde op de oppervlakte des waters in het vatwerkt, en voorkomt daardoor het ontstaan van eene ledige ruimte in het binnenste van de buis, die zich anders noodwendig bij *s* zou moeten vormen, wanneer het water aan beide zijden afvloeide. Naardien de drukking der lucht aan beide zijden even sterk is, zou er volkomen evenwigt volgen, indien de kolommen waters in beide beenen even hoog waren, indien dus de opening *b'* zich ter hoogte van de oppervlakte des waters in het vat bevond; maar zoodra *b'* lager gelegen is, krijgt de waterkolom in het been *s b'* het overwigt, en naarmate hier het water uitvloeit, wordt er aan de andere zijde door de drukking der lucht op nieuw water in de buis gedreven, zoodat het uitvloeijen bij *b'* voortduurt, tot dat de oppervlakte van het vocht in het vat tot de hoogte van de opening *b'* gedaald is, of tot dat de opening bij *b* vrij geworden is.

Fig. 100.



Om den hevel met gemak te kunnen vullen en doen werken, wordt er eene *zuigbuis a t*, Fig. 101, aan denzelven aangebragt; de gewone hevels namelijk worden gevuld door bij *b'* te zuigen, maar daarbij is het niet te vermijden, dat men een weinig van het vocht in den mond krijgt, hetgeen in vele gevallen onaangenaam, dikwijls zelfs gevaarlijk is, zoo als b. v., wanneer men zich van eenen hevel bedient, om een vat met zwavelzuur te ontledigen; in zulk een geval is de zuigbuis onontbeerlijk, want wanneer men de buis bij *b'* toesluit, kan men, door bij *t* te zuigen, het geheele been *s b'*, vullen, zonder dat het vocht in den mond komt. Het vocht begint dan uittevloeijen, zoodra men het uiteinde *b'* opent.

Fig. 101.

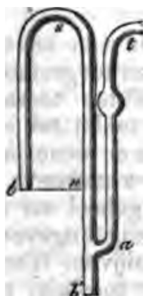
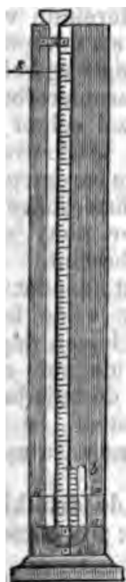


Fig. 102.



De wet van Mariotte. *Het volumen der gazen verhoudt zich omgekeerd evenredig aan de drukking die zij ondergaan.* Om deze hoofdwet door proefneming te bewijzen, neme men eene gebogen cilindrische buis, waarvan het korte been van boven gesloten is, terwijl het langere been open blijft. Men begint met slechts weinig kwikzilver in de buis te gieten, en keert dan den toestel een weinig om, opdat er eenige lucht uit het korte been ontwijke; men kan dan gemakkelijk bewerken, dat het kwikzilver in beide beenen even hoog staat. De lucht in de ruimte *a b* besloten, is dan juist aan de drukking van den dampkring onderworpen. Indien men nu op nieuw kwikzilver in het opene been giet, dan wordt de drukking, welke de ingeslotene lucht wederstaan moet, vermeerderd, en zij wordt daardoor tot eenen kleineren omvang zamengeperst. Wanneer het kwikzilver in het korte been gerezen is tot aan het punt *m*, hetwelk zich in het midden tusschen *a* en *b* bevindt, dan is de lucht tot op de helft van haar vorige volumen zamengeperst; zoo men nu het punt op het langere been dat met *m* op gelijke hoogte staat, door *n* aanduidt, en dan meet hoe hoog het kwikzilver in het langere been nog boven *n* staat dan vindt men, dat de hoogte van de kwikzilverkolom *n s*, juist gelijk is aan de barometerhoogte; de in *b m* bevatte lucht ondergaat derhalve eene drukking van twee dampkringen. Indien het opene been van dezen toestel lang genoeg is, kan men op dezelfde wijze aantoonen, dat eene drukking van 3,4 dampkringen de ingeslotene lucht tot op $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$ van haar vroegere volumen zamen perst. ARAGO en DULONG hebben bewezen, dat deze wet voor de dampkringslucht nog tot op eene drukking van ten minste 27 atmospheren onveranderd blijft. 54

55 Door deze proeven is de waarheid der wet van MARIOTTE voor eene drukking van 1 atmospheer tot op eene drukking van 27 atmospheren bewezen; voor eene drukking echter die *minder* dan 1 atmospheer bedraagt, kan men door middel van het onderstaande werktuig het bewijs leveren.

Eene eenigzins wijde glazen buis, Fig. 103, die van boven in een wijder vat uitloopt en van onderen toegesmolten is, wordt in eenen daartoe geschikten toestel loodregt geplaatst. Zij wordt ten naastenbij tot op *c n* met kwikzilver gevuld. Nu vult men eene barometerbuis, zoo als voor de proeve van TORRICELLI, (N°. 48), met kwikzilver, doch niet geheel en al vol, maar slechts zoo verre, dat er nog ongeveer 3 tot 5 duimen niet met kwik gevuld blijven. Wanneer men de opening met den vinger toesluit, en de buis dan omkeert, dan zal de lucht stijgen tot aan het bovenste van de buis. Zoo men nu, gelijk bij de proef van TORRICELLI, het ondereinde van de buis in het kwikzilver van het vat *c n* dompelt, en vervolgens den vinger van de opening wegtrekt, dan zal de kwikzilverkolom in de barometerbuis tot op een bepaald punt dalen. Men zal echter al spoedig opmerken, dat de top van de kwikzilverkolom niet zoo hoog boven *c n* staat, als de barometerhoogte bedraagt, omdat er in het bovenste gedeelte van de buis lucht aanwezig is, en er niet, zoo als bij den barometer, een luchtledig bestaat.

Fig. 103.



Wanneer men de buis omlaag drukt, zoodat zij lager en lager in het kwikzilver der wijde buis daalt, dan neemt de omvang der van boven ingeslotene lucht steeds af. Men drukt nu de buis zoo ver naar omlaag, dat het kwikzilver in de buis juist ter oppervlakte des kwikzilvers *c n* staat. In dit geval wordt de afgeslotene lucht juist met 1 atmospheer gedrukt.

De hoogte van de afgeslotene luchtkolom, die de drukking van eene atmospheer ondergaat, wordt nu gemeten; zij bedraagt 5 duim.

Wanneer men de buis weder omhoog trekt, dan neemt het volumen der ingeslotene lucht weder toe, maar te gelijker tijd rijst ook het kwik in de kom boven het niveau *c n*. Gesteld, dat men de buis zoo hoog opgetrokken had, dat de ingeslotene lucht in de buis eene lengte van 10 duim innam, dan zal de hoogte van het kwikzilver in de kom boven het niveau *n c*, juist half zoo hoog zijn als de barometerstand op dat oogenblik. Indien de barometer op 760^{mm} stond, dan zal de kwik in de kom juist 380^{mm} boven *c n* staan. De helft van de drukking des dampkrings is derhalve door de kwikzilverkolom, die *zich* beneden de ingesloten lucht bevindt, weggenomen, en de

drukking, welke deze ingeslotene lucht ondergaat, is nog enkel gelijk aan de drukking van eene halve atmospheer; haar volumen evenwel is eens zoo groot, als toen zij de drukking van de geheele atmospheer onderging.

Indien men de buis zoo verre opheft, dat de ingeslotene lucht in de buis eene lengte van 15^{mm} inneemt, dat haar volumen 3 maal grooter geworden is, dan bedraagt de hoogte van de kwikzilverkolom in onze buis $\frac{2}{3}$ van de barometer hoogte; de ingeslotene lucht ondergaat derhalve nog slechts eene drukking van $\frac{1}{3}$ atmospheer.

Bepaling der hoogte door middel van den barometer. Zoo de lucht 56
geene veerkrachtige vloeistof ware, maar zich op dezelfde wijze verhield als het water, ware het bijzonder gemakkelijk, om met den barometer hoogte-metingen te bewerkstellingen. Gesteld, dat de barometerstand ter eenigen tijd op de hoogte van het waterpas der zee 760^{mm} zij. Zoodra men nu 11,5 el hooger komt, daalt de barometer tot 759^{mm}; eene luchtkolom van 11,5 el hoogte houdt derhalve eene kwikzilverkolom van 1^{mm} in evenwigt.

Hieruit kan men de digtheid van de lucht bepalen, want zij verhoudt zich tot die van het kwikzilver als 1^{mm} tot 11,5 el, of als 1 tot 11500, dat is: de digtheid der lucht is $\frac{1}{11500}$ van die des kwikzilvers. De digtheid der lucht is diensvolgens $\frac{13,6}{11500}$ d. i. bijna 0,0012 van die des waters, daar het water 13,6 maal ligter is dan kwikzilver. Wanneer nu de lucht zich verhield gelijk het water, dan zou de digtheid van alle boven ons aanwezige luchtlagen even groot zijn; men behoefde zich slechts nog 11,5 el hooger te begeven, opdat de barometer wederom 1^{mm} daalde, en wanneer bij voortgaand opstijgen de barometer n millimeters gedaald ware, dan was men $n \times 11,5$ el opgeklommen. De lucht echter is veerkrachtig; hoe minder de drukking is, die op haar drukt, des te minder digt is zij; hoe hooger wij derhalve stijgen, des te meer wordt de lucht verdund.

De wet, volgens welke de digtheid der lucht bij voortgaande hoogte afneemt, en de betrekkingen tusschen den barometerstand en de verschillende hoogten boven den grond, kan men uit de wet van MARIOTTE afleiden.

De barometerstand zij op de eene of andere plaats 760^{mm}. Wanneer men nu 11,5 ellen omhoog klimt, daalt de barometer op 759^{mm}, of, wat hetzelfde is, op $760\ \frac{759}{760}$. Zonder merkbaar verschil kunnen wij aannemen, dat de geheele luchtlaag van 11,5 el hoogte overal even digt is, wij kunnen aannemen, dat zij zoo digt is als op den grond. In Fig. 104 zij a een punt op den grond, b een punt dat 11,5 el hooger ligt, en ieder

der volgende punten, *c*, *d*, *e*, enz. zij altijd weder 11,5 el hooger dan het laatst voorgaande. Dewijl de digtheid der lucht evenredig is aan hare drukking, is bijgevolg de luchtlaag *b c* minder digt dan de luchtlaag *a b*, en wel zullen de digtheden dezer lagen zich verhouden, als de barometerstanden in *a* en *b*, d. i. de digtheid der laag *b c* is $\frac{759^{mm}}{760}$ der digtheid van de laag *a b*. Wanneer men derhalve van *b* naar *Q* klimt, daalt de barometer niet andermaal 1^{mm}, maar slechts $\frac{759^{mm}}{760}$. De barometerstand in *c* is diensvolgens 760 $\frac{759^{mm}}{760} - \frac{759}{760} = \frac{759^2}{760} = 760\left(\frac{759}{760}\right)^2$. Op dezelfde wijze kunnen wij verder berekenen, dat de digtheden van de lagen *b c* en *c d* zich verhouden, als de barometerstanden in *b* en *c*, dat dus de laag *c d* $\frac{759}{760}$ ligter is dan de laag *b c*. Wanneer derhalve de laag *b c* eene kwikzilverkolom van $\frac{759^{mm}}{760}$ dragen konde, dan

Fig. 104.

h $760\left(\frac{759}{760}\right)^7$
g $760\left(\frac{759}{760}\right)^6$
f $760\left(\frac{759}{760}\right)^5$
e $760\left(\frac{759}{760}\right)^4$
d $760\left(\frac{759}{760}\right)^3$
c $760\left(\frac{759}{760}\right)^2$
b $760\left(\frac{759}{760}\right)^1$
a 760

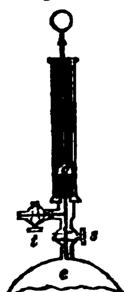
kan de laag *c d* slechts eene zoodanige kolom van $\frac{759}{760} \times \frac{759}{760} = \left(\frac{759}{760}\right)^2$ millimeters dragen, en wanneer men van *c* tot *d* klimt dan moet de barometer de hoogte van $\left(\frac{759}{760}\right)^2$ millimeters dalen. In *d* is dus de barometerstand $760\left(\frac{759}{760}\right)^2 - \left(\frac{759}{760}\right)^2 = 760\left(\frac{759}{760}\right)^3$.

Men begrijpt ligtelijk, dat er uit deze beschouwingen formulen afgeleid kunnen worden, door middel van welke het verschil in hoogte van twee plaatsen berekend kan worden, wanneer op beide plaatsen, te gelijker tijd, de hoogte van den barometerstand naauwkeurig gemeten is.

57 **De luchtpomp.** De luchtpomp behoort tot de onontbeerlijkste en belangrijkste werktuigen van den natuurkundigen, dat na deszelfs uitvinding door OTTO VAN GUERICKE vele veranderingen en verbeteringen ondergaan heeft. Wij willen haar eerst in haren eenvoudigst mogelijken vorm leeren kennen, en daartoe de kleine luchtpompen beschouwen, zoo als die tegenwoordig in alle scheikundige laboratoria in gebruik zijn.

Denken wij ons eenen hollen cilinder, die van onder volkomen gesloten is, en op wiens bodem een zuiger *b'* Fig. 105 vast bevestigd is. Wanneer nu de zuiger met kracht in de hoogte getrokken wordt, dan vormt er zich inderdaad beneden den zuiger eene luchtledige ruimte, ten minste indien de zuiger luchtdigt tegen de wanden van den cilinder sluit. Met deze ledige ruimte heeft men echter niets gewonnen, om dat men niet in dezelve kan zien, noch iets daarin brengen kan. Wanneer echter eene buis uit het onderste gedeelte van den cilinder naar eene of andere ruimte, b. v. naar eene klok *e* geleidt, die wel is waar met lucht gevuld is, maar toch volkomen van de buitenlucht is afgesloten, dan zal er, bij het optrekken van den zuiger, een gedeelte der lucht uit *e*, ten gevolge van hare veerkracht, in den cilinder treden, en er zal dus eene verdunning der lucht in *e* volgen. Opdat echter bij het dalen van den zuiger de lucht niet weder in de ruimte *e* terug keere, heeft men aan het werktuig eene kraan *s* aangebragt, door middel van welke men naar verkiezing de verbinding tusschen *e* en den cilinder kan opheffen en weder herstellen. Deze kraan *s* wordt gesloten, zoodra de zuiger naar boven gekomen is. Zoo men nu den zuiger omlaag drukt, zal daardoor slechts de lucht in den cilinder zamengeperst worden, indien men haar geenen uitweg verleent; dezen uitweg verkrijgt men door het openen van eene tweede kraan *t*. Wanneer de zuiger beneden aangekomen is, wordt *t* weder gesloten, *s* geopend, en een herhaald optrekken van den zuiger brengt op nieuw eene verdunning in *e* te weeg. Door herhaling van deze bewerking kan men de lucht in *e* aanmerkelijk verdunnen.

Fig. 105.

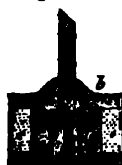


In dezen opgegevenen vorm is de toestel evenwel in vele opzigten ongeschikt. Vooreerst is het onophoudelijke openen en sluiten van twee kranen ten uiterste lastig. De kraan *t* evenwel kan men daardoor vervangen dat men in den zuiger zelven eenen klep aanbrengt, die bij het optrekken toesluit, en bij het dalen zich opent. Het onderste gedeelte bestaat uit eene plaat van geel koper met eene schroef, die in een stuk geel koper *c c* wordt vastgeschroefd. De schroef is in hare lengte doorboord, en van boven wordt een stuk taf *r* gebonden, hetwelk de opening *o* bedekt. In de geel koperen plaat, waarin de schroef is bevestigd, is eene opening *b*. Bij het optrekken van den zuiger drukt de lucht in het bovenste gedeelte van den cilinder door de opening *b* op het stuk taf, en drukt het vast tegen de opening *o*; de zuiger werkt dus bij het optrekken even zoo als of hij massief ware; de lucht treedt derhalve uit de ruimte *e*, door

Fig. 106.



Fig. 107.



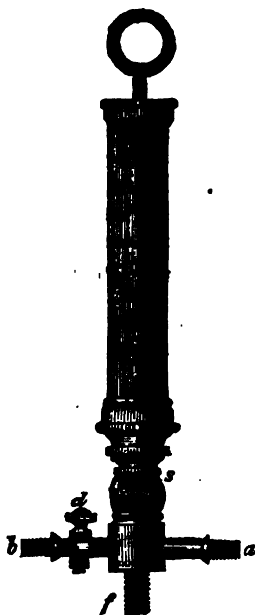
de geopende kraan *s*, in het onderste gedeelte van den cilinder; maar wanneer, nadat de kraan *s* gesloten is, de zuiger weder omlaag gedrukt wordt, dan wordt de lucht in het onderste gedeelte van den cilinder zamengeperst, zij drukt de klep *r* omhoog, en ontwijkt door de opening *b* naar het bovenste gedeelte van den cilinder.

Het stuk geel koper *c* is bevat in eene kurk, die rondom met fijn leder bekleed is. Dit leder wordt door de veerkracht van de kurk tegen de wanden van den cilinder gedrukt.

De kraan *s* kan men eveneens missen, zoo men eene tweede klep aanbrengt, ter plaatse waar het naar den cilinder voerende kanaal in dezen inmondt. Deze klep opent zich bij het optrekken van den zuiger en sluit zich bij het dalen van denzelven.

De nevenstaande Fig. vertoont eene volgens de voorschriften van GAY-LUSSAC zeer doelmatig zamengestelde kleine handluchtpomp, op $\frac{1}{7}$ van hare natuurlijke grootte. Van het onder einde van den cilinder loopt een kanaal loodregt benedenwaarts, tot aan eene horizontale buis *a b*. De kraan bij *d* zij gesloten, bij *a* zij de recipient aangeschroefd, dien men luchtledig wil maken, dan zal er bij het optrekken van den zuiger een gedeelte der lucht door het eerst dwars en later loodregt gerigte kanaal in den cilinder treden, en bij het nederdrukken van den zuiger door de zuigerklep ontwijken. Indien men de lucht weder in den recipient wil binnenlaten, behoeft men slechts de kraan bij *d* te openen.

Fig. 108.



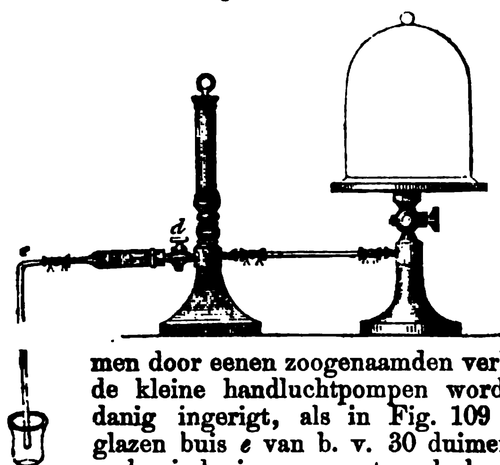
Door middel van de schroef *s* wordt de luchtpomp op eene tafel of op eene op de tafel bevestigde plank vastgeschroefd, op dat zij gedurende het gebruik behoorlijk vast sta.

Door *recipient* verstaat men de ruimte, welke luchtledig gemaakt moet worden.

Voor de meeste proeven met de luchtpomp bedient men zich het best voor recipient van eene glazen klok, wier onderste eenigzins breede rand volkomen glad afgeslepen moet zijn, om hem op de, eveneens glad afgeslepene, plaat zoo te doen passen, dat er tusschen deze en de klok geene lucht binnen dringen kan. Volkomene sluiting kan men echter slechts daardoor bewerken, dat men den rand van de klok, voor dat men haar op de plaat zet, met vet besmeert. In Fig. 109 ziet men op welke wijze zulk een recipient met de kleine luchtpomp in verbinding gebragt wordt. Van het midden van de plaat gaat er namelijk eene buis

loodregt benedenwaarts, en gaat dan door eene korte horizontale buis verder. Aan het uiteinde van deze korte horizontale buis wordt, door middel van eenen ring van caoutchouc, eene glazen buis bevestigd, die aan het andere einde eveneens door middel eener caoutchouc-ring aan de luchtpomp bevestigd wordt.

Fig. 109.



Den graad van verdunning der lucht, door het uitpompen te weeg gebragt, kan men door eenen zoogenaamden verklikker meten. Voor de kleine handluchtpompen wordt de *verklikker* zoodanig ingerigt, als in Fig. 109 is aangetoond. Eene glazen buis *e* van b. v. 30 duimen lengte, is met het ondereinde in een vat vol kwikzilver gedompeld; van boven is zij omgebogen, en door middel van eene korte wijde buis aan de pomp bevestigd. Wanneer de kraan *d* geopend is, klimt het kwikzilver in de buis, en wel des te hooger, naarmate de lucht meer verdund is. Zoo het mogelijk ware, eene volstrekt luchtledige ruimte door middel van de luchtpomp daar te stellen, dan zou de in de buis *e* opgeklommen kwikzilverkolom gelijk zijn aan de barometerhoogte.

Met goed zamengestelde luchtpompen van deze soort kan men de meeste proeven bewerkstelligen, bij welke geen te groote recipient of eene zeer snelle en volkomene verdunning der lucht gevorderd worden. Daarom zijn deze luchtpompen aan te bevelen voor alle leerinrigtingen, en voor hen, wier geldmiddelen het aanschaffen van eene goed bewerkte groote luchtpomp niet gedoogen, wanneer zij namelijk vier, vijf, of zes maal grooter gemaakt zijn dan Fig. 109 vertoont. Deze kleine luchtpompen worden vooral goed vervaardigd door onderscheidene werktuigkundigen te *Berlijn*.

De grootere luchtpompen zijn op zeer verschillende wijzen zamengesteld, hoewel bij allen dezelfde regelen ten gronde liggen als bij de boven beschrevene kleine luchtpompen. Een der voornaamste toestellen in dit opzigt zullen wij hier nader beschouwen.

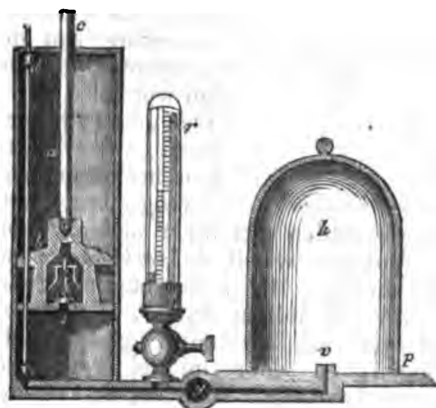
In eenen cilinder *a*, die zeer goed bewerkt moet zijn, is de zuiger *b* door middel van de stang *c* beweegbaar. Op alle plaatsen moet hij volkomen luchtdigt sluiten, d. i. tusschen den zuiger en den cilinder mag er geene lucht ontwijken.

In den zuiger is eene klep *s*, die zeer ligt bewegelijk moet zijn, en zich van onder naar boven opent. Zij gaat omhoog,

wanneer de drukking van onder sterker is dan die van bov
zoo dat niet het geval is blijft hij hermetisch gesloten.

De stang *e d* is de klep voor den cilinder. Wanneer zuiger opgetrokken wordt, gaat de geheele stang omhoo maar al spoedig stoot het uitsteeksel *d* tegen de bovenste pl van den cilinder, en de zuiger wordt nu met eenige wrijvi langs den geheelen sta bewogen. Zoodra de z ger omlaag gaat, wo de afgeknotte kegel *e* de onder haar aanwez kegelvormige opening drukt, zoodat de boven oppervlakte van den gel *e* met den bodem den cylinder een plat v maakt, en de zuiger d halve zich volkomen dezen bodem kan pla sen.

Fig. 110.



Uit de vermelde gelvormige opening lo eene buis tot aan *r*. H vindt men eene schroef, aan welke men ballons of dere recipienten, die men luchtledig wil maken, kan v schroeven.

De schroef *v* is in het midden van de plaat *p*, op welke m de klok *h* kan plaatsen.

Stellen wij, dat de zuiger op de onderste plaat van den cilinc rustte. Indien hij nu omhoog getrokken werd, dan zou er ee luchtledige ruimte bestaan, zoö alle kleppen gesloten blev maar de klep bij *e* wordt geopend, en de lucht uit de klok stroo voor een gedeelte in den cilinder. Daardoor wordt evenwel de lucht in de klok en in het kanaal van de klok verdund, klep *s* in den zuiger moet derhalve gesloten blijven. Bij het ne dalen van den zuiger wordt de klep bij *e* onmiddelijk geslo en dus aan de lucht in den cilinder de overgang in de k belet. De op deze wijze afgeslotene lucht moet door de kl volkomen ontwijken, tot dat de zuiger den bodem van cilinder raakt. Een herhaald optrekken van den zuiger br op nieuw eene verdunning in de klok te weeg. Men begrijpt, men op deze wijze nimmer eene volstrekt luchtledige rui kan voortbrengen, hoe lang men de bewerking ook voortze moge, omdat toch door iedere nieuwe zuigerslag de lucht die onder de klok aanwezig is, slechts op nieuw verdund wo doch men kan het evenwel gemakkelijk zoo verre brengen, de nog aanwezige lucht slechts eene spanning van twee milli ters bezit. Naarmate het volumen van den recipient in verh ding tot het volumen van den cilinder grooter of klei

is, wordt er langer of korter tijd gevorderd, om eenen bepaalden graad van verdunning te bewerken.

Wanneer men behoorlijk uitgepompt heeft, wordt de drukking van den dampkring, die op den zuiger werkt, door geene tegendrukking van binnen in evenwigt gehouden. Om den zuiger op te trekken, is er eene kracht van 1,033 pond voor elken vierkanten duim zijner oppervlakte noodig, en bovendien heeft men nog de wrijving te overwinnen. Bij luchtpompen met twee cilinders, wordt de drukking op den eenen zuiger opgewogen door de drukking, welke op den anderen zuiger werkt, en dus blijft dan nog slechts de wrijving te overwinnen.

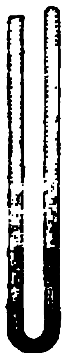
In het kanaal, hetwelk den recipient met de buis verbindt, is eene kraan met twee openingen aangebragt, eene gewone regt doorgaande opening, die gedurende het uitpompen den recipient met de buis verbindt, en eene zijdelingsche opening, die door eenen metalen stop *b* gesloten, en naar de buis gekeerd is, wanneer de recipient afgesloten moet zijn. Wanneer men weder lucht in den recipient wil binnen laten, draait men de kraan zoo, dat de zijdelingsche opening naar den recipient gekeerd is, en trekt den metalen stop uit de kraan.

Fig. 111.



Bij deze luchtpompen is de verklikker gewoonlijk eenigzins anders ingerigt, dan bij de boven vermelde. Gewoonlijk is het een korte barometer, die in eene lange naauwe klok *r*, Fig. 110 bevat is, welke met het kanaal van de luchtpomp in verbinding staat. Deze verbinding kan door middel van eene kraan naar willekeur afgebroken en weder hersteld worden. Fig. 112 stelt eenen verklikker van 7 duim lengte voor. Het kwikzilver vult het toegesmolten been geheel en al, en begint eerst te zakken, wanneer de drukking der lucht, welke op het opene been werkt tot op $\frac{1}{4}$ atmospherische drukking verminderd is. Wanneer deze graad van verdunning is ingetreden, geeft de verklikker steeds de drukking der lucht in den recipient aan, welke gelijk is aan het verschil van hoogte der beide kwikzilverkolommen. Zoodra men weder lucht binnen laat, drijft de drukking van deze het kwikzilver met kracht in de gesloten buis terug; men moet daarom het instroomen matigen, opdat niet het uiteinde van de glazen buis verbrijzeld worde.

Fig. 112.



OTTO VAN GUERICKE bewerkstelligde met zijn werktuig de merkwaardige proeve met de *Maagdenburgsche halve bollen*, die daarin bestond, om eenen hollen kogel van metaal, welks helften slechts eenvoudig tegen elkander geplaatst werden, luchtledig te maken. Eer hij luchtledig is, kan men de beide helften gemakkelijk van elkander verwijderen, doch wanneer er van binnen geene lucht meer voorhanden is, om met

de uitwendige drukking der lucht evenwigt te maken, hangen zij buitengewoon sterk te zamen. Indien b. v. de straal van den kogel slechts 1 palm bedraagt, dan bedraagt de diameter van den kogel 314 vierkante duimen, en diensvolgens is de uitwendige drukking, waardoor de helften zamengehouden worden, meer dan 314 pond. Om de aanraking meer volkomen te maken, worden de randen der halve bollen, wanneer men ze op elkander plaatst, met vet besmeerd, even als de klok voor dat men deze op de plaat zet; eene kraan *c*, die gedurende het uitpompen geopend is, wordt, voor dat men de vereenigde halve bollen van de luchtpomp afschroeft, gesloten, om het intreden der lucht te voorkomen.

Fig. 113.

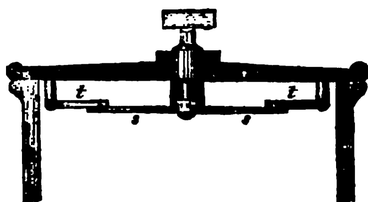


Men bedient zich van de luchtpompen tot het nemen van velerlei proeven. Met dezelve toont men b.v. aan, dat brandende ligchamen in het luchtledige uitgaan; dat de rook als een zwaar ligchaam ter aarde valt; dat de lucht in het water als het ware opgelost is; dat er zich eene luchtlaag tusschen de vochten en de wanden der vaten, in welke zij bevat zijn, bevindt, want deze luchtlaag toont hare aanwezigheid door eene menigte van kleine blaasjes, die toenemen in dezelfde mate als de drukking van de lucht vermindert. Door middel van de luchtpomp kan men koud water doen koken, enz.

Wanneer wij zien, dat eene veer langzamer ter aarde valt dan een steen, dan is de oorzaak van dit onderscheid alleen te zoeken in den wederstand, dien de lucht biedt; in de luchtledige ruimte vallen beide even snel. Door middel van de luchtpomp kan men dit op de volgende wijze aantoonen.

Een glazen cilinder van ongeveer 1 el hoog en van ten naastenbij 12 duim diameter, en van welken de boven- en onderrand zorgvuldig glad geslepen zijn, wordt op de plaat van de luchtpomp gesteld; de bovenste opening van den cilinder echter, even als de nevenstaande Fig. zulks aanduidt, door eene metalen plaat gesloten, welke door middel van een weinig vet luchtdigt op den afgeslepenen rand van het glas sluit. Door het midden van deze plaat gaat een luchtdigt sluitende metalen kegel, ten naastenbij als eene kraan gevormd, welken men naar verkiezing kan omdraaijen. Met dezen metalen kegel zijn echter ook twee, aan zijn ondereinde bevestigde, horizontale staafjes *s* bewegelijk. Op ieder van deze staafjes rust een metalen plaatje *t*, dat door eenen horizontalen spil, om welken het ligt beweegbaar moet zijn, aan het ondereinde van een aan de onderste oppervlakte der metalen plaat aanwezig staafje bevestigd is.

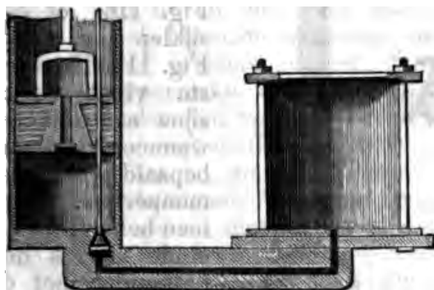
Fig. 114.



Wanneer de staafjes *s* zoo ver uit haren gewonen stand gedraaid worden, dat zij de plaatjes *t* niet meer ondersteunen, dan slaan deze om, en wat er op geplaatst is valt naar beneden. Het is goed, om den toestel zoo in te rigten, dat de beide plaatjes *t* niet te gelijker tijd omslaan. Men legt dan op elk plaatje een stukje metaal en eene kleine veder. Indien men nu het eene plaatje laat omkantelen, voor dat men uitgepompt heeft, dan valt het stuk metaal veel spoediger dan de veder. Nu wordt er echter uitgepompt, en wanneer men dan het tweede plaatje laat omkantelen, dan valt de veder even snel als het stuk metaal.

De perspomp, compressie-pomp. De perspomp heeft ten doel, 60
om de lucht te verdigten. Zij is van de luchtpomp hoofdzakelijk daardoor onderscheiden, dat de kleppen zich in tegenovergestelde rigting openen en sluiten, zoo als men in Fig. 115 ziet. Wanneer de zuiger omlaag gaat, dan wordt de lucht zamengeperst en in den recipient gedreven; gaat de zuiger omhoog, dan wordt de zuigerklep door de buitenlucht geopend, en de lucht dringt in de buis, terwijl de zamengeperste lucht in den recipient de klep in den bodem der buis gesloten houdt. Een herhaald nederdrukken van den zuiger opent de klep in den bodem weder, en er wordt eene nieuwe hoeveelheid luchts in den recipient geperst.

Fig. 115.



De verklikker van de perspomp is eene regte, van boven geslotene buis, die met lucht gevuld en met haar opene ondereinde in een vat met kwikzilver gedompeld is. Bij den aanvang der proef verkeert de lucht in de buis onder de drukking van éêne atmospheer, wanneer het niveau van het kwikzilver in de buis even hoog staat als in het vat. Hoe meer de drukking toeneemt, des te meer stijgt het kwikzilver in de buis. Uit de hoogte van deze kwikzilverkolom en de zamenpersing der lucht in de buis, kan men gemakkelijk den graad van verdigting in den recipient bepalen.

Bij dit werktuig moet de recipient op de plaat vastgeschroefd worden, omdat anders de zamengeperste lucht denzelven zou opheffen.

Men heeft de' perspompen ook zoodanig ingerigt, dat zij geschroefd kunnen worden aan toestellen, in welke men de lucht wil zamenpersen. Deze hebben slechts eene buis en eenen zuiger zonder klep. Aan het eene einde van de buis wordt het reservoir vastgeschroefd, in hetwelk de lucht moet zamengeperst worden; hieraan is ook eene klep aanwezig, die de

Fig. 116.

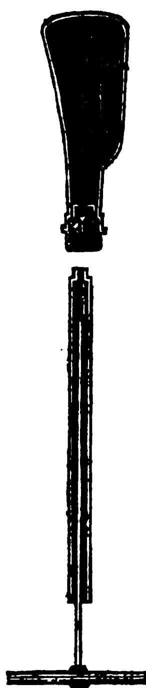
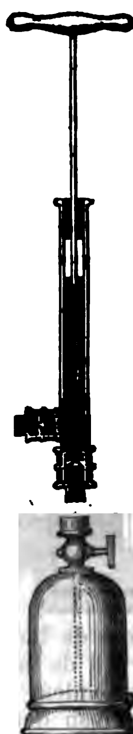


Fig. 117.



lucht in het reservoir binnen laat, maar niet daaruit laat treden. Ten einde nieuwe lucht in de buis binnen te laten, nadat er eene hoeveelheid derzelve in het reservoir geperst is, heeft de buis óf eene zijdelingsche opening, zoo als in Fig. 116, óf een zijklep zoo als in Fig. 117. Het laatste vindt vooral zijne aanwending, wanneer men een bepaald gas wil zamenpersen, want men behoeft tot dit einde slechts den gashouder met de buis van de klep te vereenigen.

De eerste van deze beide perspompen wordt hoofdzakelijk aangewend, om windroeren te laden, wier inrigting door de onderstaande afbeeldingen duidelijk wordt. Wanneer men door middel van de perspomp de lucht in de kolf van het

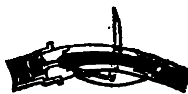
Fig. 118.



Fig. 119.



Fig. 120.

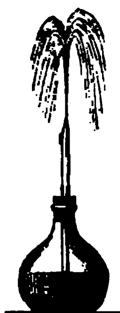


windroer tot op 8 of 10 atmospheren heeft zamengeperst, wordt er een loop aangeschroefd, die dient om den kogel zijne

rigting te geven. Wanneer de klep, die de kolf toesluit, door den trekker geopend wordt, dan ontwijkt een gedeelte van de ingeslotene lucht met groote kracht, drijft den kogel voort, en oogenblikkelijk daarna sluit de klep zich weder. Met een goed windroer kan men eenen kogel met evenveel snelheid voortdrijven, als met een vuurroer. Men kan, zonder op nieuw te laden, onderscheidene schoten na elkander doen, en wel des te meer, hoe grooter de kolf is.

De Herons-bal. Door middel van zamengeperste lucht kan 61
men ook vochten met groote kracht uit vaten drijven, zoo als dit b. v. het geval is bij den Herons-bal. Door den hals van eenig vat, hetwelk slechts gedeeltelijk met water gevuld is, gaat eene buis tot bijna op den bodem. De buis eindigt van boven met eene naauwe opening. Wanneer de lucht in het bovenste gedeelte van het vat op de eene of andere wijze is zamengeperst, dan drijft de drukking, welke zij op de oppervlakte van het water uitoefent, dit uit de naauwe opening onder den vorm van eenen straal omhoog. Tot het vat bezigt men eene apothekers-flesch, die door eene kurk gesloten is, door welke eene glazen buis met fijnen punt heengaat. Wanneer de glazen buis weinig of in het geheel niet in het glas uitsteekt, dan verkrijgt men daardoor de zoogenaamde decantheer-flesschen, waarmede de scheikundigen hunne praeparaten afwasschen. De zamenpersing van de lucht geschiedt bij deze fonteintjes door middel van den mond, doordien men lucht door de buis inblaast. Wanneer de in den toestel ingeslotene lucht de digtheid van de omringende atmospheer heeft, en men haar dan onder de klok van de luchtpomp plaatst, dan begint het springen der fontein, zoodra men de lucht uitpompt. Dikwijls vervaardigt men deze toestellen op grooteren schaal geheel uit metaal. In dit geval is er in den hals eene kraan *r* bevestigd, boven welke de naauwe punt kan vastgeschroefd worden. De zamenpersing van de lucht geschiedt dan door middel van eene perspomp, die in de plaats van de buis is geschroefd. Wanneer het vat gevuld is, verwijdert men de pomp en schroeft de buis aan. Zoodra nu de kraan geopend wordt, springt het water tot eene hoogte van 30, ja van 100 voet, wanneer de lucht tot 2 of tot 5 of 6 atmospheren was zamengeperst.

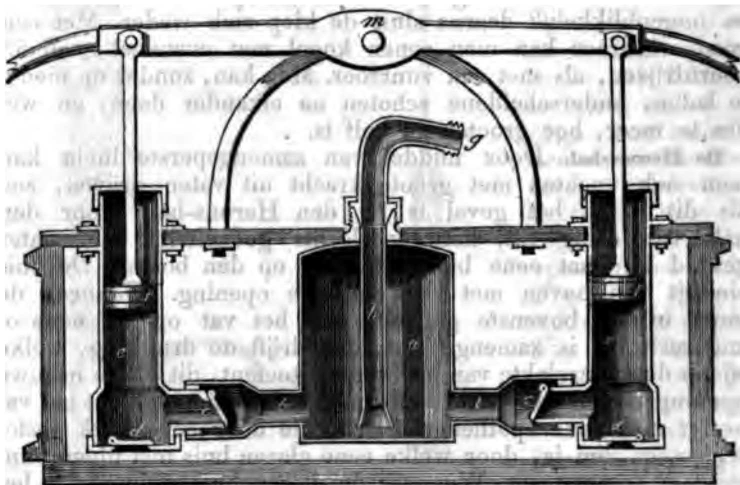
Fig. 121.



De brandspuit. Fig. 122 is zamengesteld door de vereeniging 62
van de perspomp met den Herons-bal. De pompbuizen, van welke wij vooreerst slechts de eene ter regter zijde willen beschouwen, staan in eene met water gevulde kast. Wanneer de zuiger *f* opgetrokken wordt, gaat de klep *d* omhoog, en het water dringt in de buis *e*. Wanneer de zuiger omlaag gaat, sluit zich de klep *d*, de klep *c* wordt geopend, en het water wordt door de buis *b* in den windketel *a* gedreven.

Deze windketel is niets anders dan een groote Herons-bal;

Fig. 122.



hoe meer water er in den windketel gepompt wordt, des te meer wordt de lucht in het bovenste gedeelte van denzelven zamengeperst. De buis *h* reikt bijna tot den bodem van den windketel; bij *g* wordt eene buis met naauwe opening, de zwanenhals, aangeschroefd. Door de drukking, welke de in den windketel zamengeperste lucht onophoudelijk op het in denzelven bevatte water uitoefent, wordt er met kracht een waterstraal uit de opening van den zwanenhals voortgedreven. Aan eene opening, die zich in den wand van den windketel nabij den bodem bevindt, kan eene lederen slang met eene metalen punt aangeschroefd worden, welke eene opening heeft als die van den zwanenhals; deze slang geeft eenen waterstraal, dien men met meer gemak naar alle kanten kan bewegen, en nader bij den brand kan brengen dan den zwanenhals.

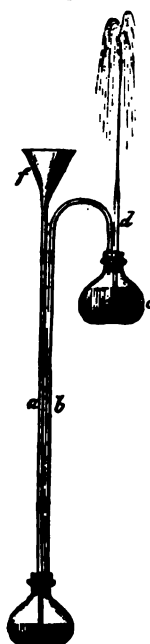
Het op- en nedergaan van den zuiger wordt bewerkstelligd door eenen hefboom, waarvan *m* het steunpunt is. Aan dezen hefboom zijn de beide zuigerstangen zoodanig bevestigd, dat de eene zuiger omhoog gaat, wanneer de andere daalt, zoodat er derhalve onafgebroken water in den windketel gevoerd wordt.

63 **De fonteinen van Heron.** De eenvoudigste soort van deze fonteinen, Fig. 123, kan men uit glazen buizen door middel van de glasblazerslamp vervaardigen. Het water in de buis *a* perst de lucht in *b* zamen, de zamengeperste lucht drukt op de oppervlakte van het water in *c*, en ten gevolge van deze drukking moet het water bij *d* omhoog springen. Op hetzelfde beginsel steunt ook de fontein van Heron in Fig. 124 voorgesteld, die uit glazen buizen, kolven of flesschen van deze stof, en eenen trechter is zamengesteld. Men begrijpt van zelfs,

Fig. 123.



Fig. 124.



dat het vat *c* op de eene of andere wijze ondersteund moet zijn. Wanneer men den toestel wil laten werken, vult men de kolf *c* bijna geheel met water, en sluit daarop den hals met de kurk, door welke de buizen *b* en *d* gaan; dan giet men water door den trechter *f*, en al spoedig begint het water uit de buis *d* te springen.

Het meten van de drukking der gazen. 64

Tot het meten van de drukking der gazen, heeft men twee onderscheidene middelen, namelijk de vochtkolommen of de kleppen. De toestellen, om door middel van vochtkolommen de drukking der gazen te meten, noemt men *manometers*. De verklikker van de luchtpomp en van de perspomp zijn manometers.

Fig. 125.



Tot de manometers behooren in zeker opzigt ook de *veiligheids-buizen*, want door middel van dezelve meet men de drukking der gazen in de toestellen, aan welke zij aangebragt zijn. Wanneer hunne spankracht gelijk is aan de drukking van de atmospheer, dan staat het vocht in de beide beenen, Fig. 125, even hoog; wanneer dit niet het geval is, dan kan men uit het verschil der vochtkolommen in de beide beenen, de drukking binnen de afgeslotene ruimte bepalen, zoo de digtheid van het vocht in de veiligheidsbuis bekend is. De veiligheidsbuizen zijn door WELTER uitgevonden; zij zijn van buitengewoon groot nut bij vele scheikundige bewerkingen, daar door haar zoo vele uitberstingen, als ook het wegvloeijen der afgeslotene vloeistof voorkomen wordt.

In Fig. 126 en 127 zijn twee veiligheids-kleppen voorgesteld. Wanneer men het gewigt kent, dat op zulk eene klep drukt, en de grootte van de oppervlakte der klep, welke de verticale drukking van het gas moet wederstaan, dan kan men de spanning berekenen van het gas, op het oogenblik, wanneer het in staat is om de klep omhoog te ligten. Indien b. v. de klep gedrukt werd met een gewigt van 100 pd., en de opper-

Fig. 126.

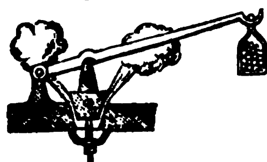
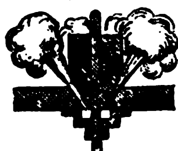


Fig. 127.



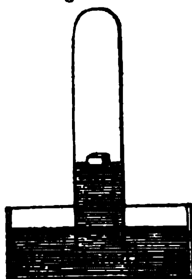
vlakte van de klep 25 vierkante duimen bedroeg, dan heeft ieder vierkante duim van deze oppervlakte 4 pond te dragen. Dewijl nu de drukking van de atmospheer op iederen vierkanten duim 1,0325 uitmaakt, is de spanning van het gas, waardoor deze klep kan worden opgebeurd, gelijk $\frac{4}{1,0325} = 3,87$ atmospheren, waarbij men nog eenen atmospheer moet rekenen voor de drukking der lucht van buiten, welke nog, behalve de last, op de klep drukt. Van dit middel bedient men zich bij vloeistoffen zoowel als bij gazen; en men bedient er zich mede van, om de ketels, buizen en cilinders der stoomwerktuigen te beproeven.

ZESDE HOOFDSTUK.

Aantrekking tusschen luchtvormige en vaste, en tusschen luchtvormige en drupvormig vloeibare ligchamen.

65 Dat er tusschen de deeltjes van vaste en luchtvormige ligchamen eene sterke aantrekking bestaat, blijkt ten duidelijkste uit de navolgende proef. Wanneer men eene gloeijende kool onder kwikzilver uitdooft, en haar dan naar boven laat stijgen in eenen cilinder, die van boven gevuld is met koolstofzuur, hetwelk door kwikzilver van de buitenlucht is afgesloten, en welks volumen ongeveer 20 maal grooter is dan dat van de kool, dan wordt, na slechts weinige oogenblikken, het koolzuur door de kool zoo zeer verdigt, dat het kwikzilver tot boven in den cilinder rijst. De geheele hoeveelheid van koolzuur, die vroeger het bovenste gedeelte van den cilinder vulde, is nu, ten gevolge van de aantrekking die er tusschen de kool en het koolstofzuur bestaat, in de porien van de kool verdigt geworden, het gas is *geabsorbeerd*. Deze proef kan men ook met goed gevolg met vele andere gazen bewerkstelligen.

Fig. 123.



Wanneer de kool gedurende langen tijd aan de inwerking van de lucht is blootgesteld geweest, dan gelukt de proef niet meer zoo goed; hetgeen gemakkelijk te begrijpen is, indien men bedenkt, dat door de kool de dampkringslucht en de in de lucht bevatte waterdamp wordt geabsorbeerd, en dat daardoor natuurlijk haar absorptie-vermogen voor andere gazen verminderd wordt.

Wanneer men kool, die gazen geabsorbeerd heeft, onder de

luchtpomp brengt of gloeit, dan laat zij de geabsorbeerde gazen weder vrij.

Deze opslorping van gazen gaat altijd gepaard met ontwikkeling van warmte, die des te aanmerkelijker is, hoe sterker de absorptie geschiedt. Bij de vervaardiging van buskruid, wordt de kool tot een buitengewoon fijn poeder gewreven, hetwelk de dampkringslucht met zulk eene gretigheid absorbeert, dat de massa aanmerkelijk verhit wordt, hetgeen dikwijls tot ontvlamming stijgt.

Wanneer een fijne stroom van waterstofgas op platina-spons (fijn verdeelde platina) geleid wordt, dan geschiedt de opslorping van het gas met zulk eene hevigheid, dat de platina gloeijend wordt, en dan het waterstofgas doet ontvlammen. Hierop berust de lamp van DOEBEREINER.

Door eenen fijn verdeelden toestand der vaste ligchamen, zoo als dit bij koolpoeder en platina-spons het geval is, wordt de absorptie bijzonder bevorderd, omdat er dan vele aanrakingspunten tusschen het vaste ligchaam en het gas aanwezig zijn; doch deze fijn verdeelde poreuze toestand is geen volstrekt vereischte om verdigting der gazen te bewerken; want deze geschiedt ook, wanneer het vaste ligchaam eene volmaakt gladde, ja zelfs wanneer het eene metallische oppervlakte heeft; doch de verdigting is in dit geval niet zoo aanmerkelijk. Indien men een stuk platina met eene volkomen metallische oppervlakte in een mengsel van zuurstofgas en waterstofgas brengt, dan worden de beide gazen zoo zeer verdigt, dat zij zich langzamerhand tot water verbinden.

Niet alleen de platina en de kool vertoonen deze merkwaardige eigenschap ten opzigte der gazen, maar alle vaste ligchamen doen zulks in meerdere of mindere mate. Ieder vast ligchaam is daarom als het ware met eenen verdigten atmospheer van het een of ander gas omgeven, dat dikwijls slechts zeer moeijelijk van hetzelve te scheiden is; en waarmede het zich, wanneer men er ook al de oppervlakte volkomen van bevrijdt, na eenigen tijd toch weder omgeeft, zoodra het met gazen in aanraking komt. Zoo is b. v. het glas altijd omringd door eene laag van verdigte lucht, welke men bij het vervaardigen van barometers altijd vooraf, door het koken des kwikzilvers in de buis, moet verwijderen. Indien men water giet in eene glazen kolf, en dezelve dan boven het vuur brengt, dan ziet men weldra eene menigte kleine blaasjes zich op den bodem vormen, nog lang voor dat het water begint te koken. Dit is de luchtlaag, die vroeger, wegens hare sterke verdigting in het geheel niet waargenomen, nu, door de warmte uitgezet, blaasjes vormt. Dergelijke blaasjes ziet men ook, wanneer men het vat met water onder den recipient der luchtpomp brengt, en dezen dan ledig pompt.

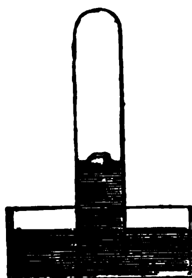
Zoodanige luchtvormige ligchamen, welke gemakkelijk tot den vloeibaren toestand overgaan (dampen), worden vloeibaar

door de aantrekking, welke vaste ligchamen op hen uitoefenen. Zoo trekt b. v. de chloorkalk met groote gretigheid waterdamp tot zich, verdigt denzelven tot water, en vervloeit eindelijk in dit water. Ook het keukenzout trekt waterdamp uit de lucht tot zich en wordt vochtig; eveneens verhouden zich de potasch en vele andere ligchamen.

De ligchamen, welke waterdamp uit de lucht tot zich trekken, noemt men *hygroscopische* ligchamen; behalve de reeds aangevoerde zijn ook hout, haren, vischgraten, enz. hygroscopisch.

66 **Absorptie van gazen door vloeistoffen.** De vloeistoffen verhouden zich tot de gazen eveneens, als wij zulks boven bij de vaste ligchamen hebben vermeld. Men kan dit regt duidelijk maken, wanneer men de boven (§ 65) aangevoerde proeve in zoo verre verandert, dat men het koolstofzuur door ammoniak-gas vervangt, en in plaats van kool water laat opklimmen. Het ammoniak-gas wordt door het water met zulk eene gretigheid opgeslorpt, dat weldra al het gas verdwenen is, en de geheele buis zich met vocht vult.

Fig. 129.



Het water absorbeert 700 maal zijn volumen aan ammoniak-gas, en 500 maal zijn volumen zoutzuur-gas.

Het absorptie-vermogen der vochten is afhankelijk van temperatuur en drukking. Bij lagere temperatuur en onder eene sterke drukking absorberen de vloeistoffen grootere hoeveelheden van gazen, dan bij hoogere temperatuur en onder lagere drukking.

Het water bevat bijna altijd eene vrij aanmerkelijke hoeveelheid geabsorbeerde lucht, en kan daarvan slechts door langdurig koken worden bevrijd. Onder andere gazen wordt ook het koolzuur door het water vrij sterk geabsorbeerd (bier, champagne).

DERDE AFDEELING.

OVER DE BEWEGING EN DE VERSNELLENDE KRACHTEN.

EERSTE HOOFDSTUK.

Verschillende soorten van beweging.

Rust en beweging. Wanneer een ligchaam zijne plaatsing ten opzigte van andere ligchamen verandert, is het in beweging, — het is in rust wanneer er geene zoodanige verandering plaats grijpt. Alle rust, alle beweging die wij waarnemen, is slechts betrekkelijk, niet volstrekt. De boomen zijn in rust ten opzigte van de naburige bergen, de bergen hebben eene onveranderlijke plaats op den aardbodem; maar boomen en bergen zijn daarom niet in volstrekte rust; zij doorloopen met den geheelen aardbol, op welken zij vaststaan, de onmetelijke baan van onze planeet. Doch hoewel wij weten, dat wij met onze aarde de ruimte des hemels doorvliegen, bij hare beweging om de zon, kunnen wij toch over onze volstrekte beweging niets zeggen; want wij zouden moeten weten, of de zon werkelijk een onbewegelijk middelpunt der wereld is. Uit alles echter schijnt te blijken, dat de zon zelve slechts eene planeet is, die om eene andere zon rondloopt, welke op hare beurt weder niet-onbewegelijk is; zonder dat wij evenwel in staat zijn, het middelpunt van alle bewegingen te bepalen of zelfs slechts te vermoeden. 67

Bij de beweging hebben wij twee wezenlijke punten te beschouwen, de *rigting* en de *snelheid.*

Wanneer een ligchaam zich steeds in dezelfde rigting beweegt, dan is zijne loopbaan *regtlijnig;* doch wanneer de rigting van zijne beweging onophoudelijk verandert, dan is die beweging kromlijnig. Wanneer men zich op een punt der kromme lijn, welke het ligchaam in een bepaald oogenblik inneemt, eene raaklijn op de kromme lijn getrokken denkt, dan stelt deze raaklijn ons de rigting van de beweging des ligchaams op dat oogenblik voor.

Gelijkvormige beweging. Een ligchaam heeft eene gelijkmatige beweging, wanneer het in gelijke tijden gelijke ruimten doorloopt. Wanneer een ligchaam, dat zich in eene regte lijn beweegt, in iedere minuut evenveel, b. v. 60 voet, aflegt, in elke halve minuut 30, in elke seconde 1 voet, dan beweegt het zich gelijkmatig. Dewijl de in gelijke tijden doorloopene ruimten gelijk zijn, volgt, dat de verhouding tusschen den tijd 68

en de ruimte standvastig dezelfde blijft. Deze verhouding noemt men de *snelheid* der gelijkmatige beweging. Indien men tweemaal of driemaal den tijd neemt, dan is de doorloopene ruimte het dubbele of drievoudige, en de verhouding blijft dus dezelfde. Het getal hetwelk de snelheid uitdrukt, is daarvan afhankelijk, welke eenheden men voor ruimte en tijd neemt. Indien men de snelheid enkel door een getal wilde uitdrukken, zonder aan te geven, van welke eenheid men zich bedient, dan zoude de snelheid nog volstrekt onbepaald zijn. Het eenvoudigste drukt men de snelheid daardoor uit, dat men aangeeft, hoe ver zich het ligchaam in de tijdseenheid, b. v. in eene minuut, of eene seconde beweegt; zoo gaat b. v. een volwassen mensch in den regel met eene snelheid van 2,5 voet in de seconde. Een gewone wind heeft eene snelheid van 60 ellen in de minuut, de stormwind echter eene snelheid van 2700 ellen in eene minuut. De beide laatste snelheden zijn met elkander vergelijkbaar, omdat zij in dezelfde eenheden zijn uitgedrukt; de snelheid van den stormwind is 45 maal grooter dan die van den gewonen wind. Indien men de snelheid van den mensch met die van den stormwind wilde vergelijken, dan zou men ze eerst tot dezelfde eenheid moeten herleiden.

Dewijl de stof traag is, moet een ligchaam hetwelk eene gelijkmatige beweging heeft, zich voortdurend in dezelfde rigting en met de zelfde snelheid bewegen. Er zou dan voorts eene tweede kracht op hetzelve moeten inwerken, welke óf zijne rigting alleen, óf zijne snelheid alleen, óf ook beide te gelijk veranderde; want door zich zelf kan een ligchaam in dit opzigt geene verandering ondergaan, noch in den toestand van rust, noch in dien van beweging. Op deze wijze moet men de wet der traagheid verstaan, en niet zoo als de oude wijsgeeren zich die voorstelden, dat de stof eene voortdurende neiging tot rust zou hebben.

Wanneer wij zien, dat de beweging van een ligchaam op de eene of andere wijze verandert, dat zijne beweging af- of toeneemt, dat de beweging geheel en al ophoudt of hare rigting verandert, dan is deze verandering telkens door eene uitwendige oorzaak te weeg gebragt. Een steen dien wij naar de zon werpen, zou tot in de zon moeten voortvliegen, wanneer hij niet door den wederstand van de lucht en door de zwaarte welke hem naar de aarde terug trekt, daarin verhinderd werd.

69. **Versnellende en vertragende beweging.** Eene gestadige verandering van de snelheid kan slechts te weeg gebragt worden door eene onophoudelijk werkende kracht; zulk eene kracht noemt men eene *versnellende* of *vertragende*, naar mate door haar de beweging vertraagd of versneld wordt. Wanneer op eenig oogenblik der veranderlijke beweging alle versnellende of vertragende krachten ophielden te werken, dan zou de beweging van dat oogenblik gelijkmatig zijn; de snelheid eener veranderlijke beweging in een gegeven oogenblik bepaalt men daardoor, dat

men onderzoekt, hoeverre zich het ligchaam zou bewegen in de tijdseenheid, wanneer, van het gevraagde oogenblik af, alle versnelling en vertraging ophield.

Men noemt eene beweging *gelijkmatig versneld* of *gelijkmatig vertraagd*, wanneer de snelheid in denzelfden tijd evenveel toeneemt of vermindert. Zulke bewegingen worden nu door krachten voortgebragt, die onophoudelijk even sterk werken, zoo als dit met de zwaarte het geval is. Een ligchaam valt met gelijkmatig vermeerderde snelheid.

Wanneer men uitgaat van de veronderstelling, dat de intensiteit der zwaarte op de verschillende punten, welke het vallende ligchaam doorloopt, dezelfde zij (en de ondervinding regtvaardigt inderdaad deze aanname, ten minste binnen zekere grenzen), dan kan men al de wetten van den vrijen val door eene eenvoudige redenering ontwikkelen.

Dewijl de zwaarte op ieder oogenblik op dezelfde wijze werkt, moet de snelheid van het vallende ligchaam in gelijke tijden ook evenveel vermeerderen, dat is, de beweging moet gelijkmatig versnellend zijn. Wanneer het vallende ligchaam gedurende de eerste seconde van zijnen val eene snelheid g verkrijgt, moet het derhalve na 2, 3, 4, . . . t seconden eene snelheid van 2 g, 3 g, 4 g, . . . $t\ g$ verkregen hebben. Men kan dit onder algemeene bewoordingen zoodanig uitdrukken: de snelheid van een vrijvallend ligchaam is steeds evenredig aan den verloopenen tijd van den val; of zij is:

$$v = g.\ t$$

wanneer v de snelheid aanduidt, welke het ligchaam gedurende eenen valtijd van t seconden verkregen heeft, en g zijne snelheid op het einde van de eerste seconde uitdrukt.

Welke ruimte moet dan diensvolgens een ligchaam in 1, 2, 3, 4, . . . t seconden doorloopen? In het begin van de eerste seconde is zijne snelheid $= o$, op het einde derzelve is zij g. Dewijl nu de snelheid gelijkmatig toeneemt, moet de in eene seconde doorloopene ruimte natuurlijk even zoo groot zijn, als of het ligchaam gedurende eene seconde zich met eene snelheid bewogen had, die tusschen de aanvangs- en eindsnelheid, derhalve tusschen o en g staat. Deze gemiddelde snelheid nu is $\frac{1}{2}\ g$, en een ligchaam, dat zich gedurende eene seconde met de snelheid $\frac{1}{2}\ g$ beweegt, doorloopt de ruimte $\frac{1}{2}\ g$.

Eveneens kunnen wij door redenering de ruimte van den val vinden, welke het ligchaam in 2 seconden doorloopt. De aanvangs-snelheid is o, de eind-snelheid 2 g, derhalve is de gemiddelde snelheid $\frac{2\ g}{2}$, en een ligchaam, hetwelk zich gedurende 2 seconden met deze snelheid beweegt, doorloopt eene ruimte van $2.\ \frac{2\ g}{2}$.

In 3 seconden doorloopt het ligchaam eene ruimte van $3 . \frac{3\,g}{2}$, want de aanvangssnelheid is o, de eindsnelheid $3\,g$, derhalve de gemiddelde snelheid $3\,\frac{g}{2}$, en met deze snelheid moet een ligchaam zich gedurende drie seconden gelijkmatig bewegen, wanneer het denzelfden weg zal afleggen, dien een zwaar ligchaam in drie seconden aflegt.

Deze redenering willen wij algemeen toepassen. Wanneer een ligchaam gedurende t seconden valt, dan moet het eenen weg afleggen, gelijk aan dien, welken het gedurende denzelfden tijd bij gelijkmatige beweging zou hebben afgelegd, wanneer zijne snelheid het gemiddelde tusschen de aanvangssnelheid o en de eindsnelheid $g.\,t$, derhalve $\frac{g}{2}.\,t$ geweest ware. Een ligchaam nu, hetwelk zich gedurende t seconden met de snelheid $\frac{g}{2}.\,t$ beweegt, doorloopt eene ruimte

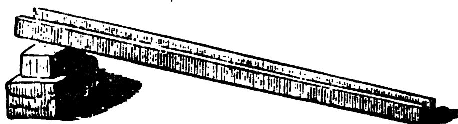
$$s = \frac{g}{2}.\,t^2$$

dat is met woorden: *de valruimten verhouden zich als de vierkanten der valtijden.*

Of evenwel de veronderstellingen bij deze redenering waar zijn, of de zwaarte werkelijk eene gelijkmatig versnellende kracht zij, daarover kan alleen de proefneming beslissen. Men kan echter deze vraag niet regtstreeks oplossen, omdat de snelheid, waarmede de ligchamen vallen, zoo snel toeneemt, dat het reeds na weinig oogenblikken onmogelijk is, om de in bepaalde tijden doorloopene ruimten naauwkeurig te bepalen. Desniettemin kan men door indirecte middelen aantoonen, wat niet door regtstreeksche proeven te vinden is. Het eenvoudigste middel is het *hellend vlak van* GALILEI, het naauwkeurigste is het *val-werktuig van* ATWOOD.

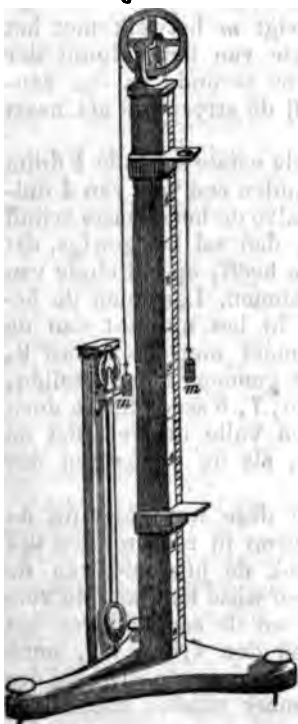
70 **Het hellend vlak van** GALILEI. Om de wetten van den val der ligchamen te bestuderen, bediende GALILEI zich het eerst van een hellend vlak, langs hetwelk hij ligt bewegelijke ligchamen naar beneden liet rollen. Tot het bewerkstelligen der proeven van GALILEI bedient men zich het best van eene houten goot, van omtrent 10 tot 12 voet lang (Fig. 130), die inwendig zoo glad mogelijk gepolijst moet zijn, en in voeten en duimen verdeeld. Aan de goot geeft men eenen schuinschen stand door middel van stutten, zoo als de nevensgaande afbeelding aantoont. Indien de goot horizontaal geplaatst ware,

Fig. 130.



dan zou een daarop gelegde kogel rustig blijven liggen, omdat zijne zwaarte geheel en al wordt opgeheven door den wederstand van het onderliggende steunsel. Zoo de goot loodregt gesteld ware dan zoude de kogel geheel vrij met de volle kracht van zijne zwaarte naar beneden vallen; doch indien de goot hellend geplaatst wordt, dan wordt de kracht der zwaarte in eene bepaalde verhouding verminderd. Uit de grondbeginselen der statica volgt, dat men de versnellende kracht, welke den kogel langs het hellend vlak naar beneden voert, kan vinden, zoo men de versnellende kracht der zwaarte vermenigvuldigt met den sinus van den hoek der helling van het hellende vlak. Welke echter ook de verhouding zijn moge, waarin eene kracht verminderd wordt, hetzij men haar tot op de helft, een derde of een vierde van hare oorspronkelijke grootte reduceert, dan verandert daardoor slechts de absolute grootte der beweging, welke zij voortbrengt, terwijl de verhouding der in bepaalde tijden doorloopene ruimten onveranderd blijft. De wet, die wij uit de proeven met het hellende vlak afleiden, is dienssvolgens de ware wet der zwaarte. Indien men den kogel in een bepaald oogenblik aan het bovenste einde van de goot loslaat, en acht geeft op de in eene, twee, in drie enz. seconden doorloopene ruimte, dan vindt men, dat de ruimten zich verhouden als de vierkanten der tijden, die noodig waren om dezelve te doorloopen. De zwaarte is bijgevolg wezenlijk eene gelijkmatig versnellende kracht.

Fig. 131.



Het werktuig van ATWOOD bestaat 71
hoofdzakelijk uit eene om eene horizontale as ligt beweegbare katrol (Fig. 131), welke op den top van eenen, ten naastenbij 7 Parijsche voet hoogen, standaard bevestigd is. Om de katrol is eene koord geslagen, aan wier einde gelijke gewigten *m* hangen. Wanneer men aan het eene einde der koord een overwigt *n* aanbrengt, dan wordt het evenwigt verbroken, de gewigten *m* en *n* aan de eene zijde vallen omlaag, het gewigt *m* aan de andere zijde wordt omhoog geheven. De snelheid waarmede deze beweging plaats grijpt, is veel minder dan bij den vrijen val, omdat de bewegende kracht, de zwaartekracht van het overwigt *n*, niet alleen de massa van *n*, maar de massa $2m + n$ in beweging moet brengen.

Indien b. v. ieder van de gewigten

m 7 lood woog, en *n* 1 lood, dan had het overwigt van 1 lood eene massa van 15 lood in beweging te brengen; de beweging zal plaats grijpen naar dezelfde wetten als bij den vrijen val, met dit onderscheid, dat de intensiteit der versnellende kracht hier 15 maal geringer is. Wanneer derhalve een vrij vallend ligchaam in de eerste seconde 15 voet doorloopt, dan zal hier de ruimte van den val in de eerste seconde slechts 1 voet zijn.

Men begrijpt ligt, dat de beweging des te langzamer zal worden, hoe kleiner het overwigt *n* in verhouding tot *m* is, en men kan dus door eene doelmatige verandering van *n* de beweging zoo langzaam maken als men verkiest.

Ten einde de ruimte van den val behoorlijk te kunnen meten, is de loodregte standaard in Parijsche duimen afgedeeld. Het bovenste punt der verdeeling is het nulpunt van de schaal. Twee schuiven, van welke de bovenste doorboord is, kunnen op ieder punt van de schaal vastgesteld worden.

Tot zoo verre behoort men den toestel te kennen, om den zamenhang der proeven te kunnen begrijpen.

In de eerste plaats kan men met dit werktuig gemakkelijk aantoonen, dat de ruimten van den val zich verhouden als de vierkanten der tijden van den val. Men neme *n* zoodanig, dat de ruimte van den val in de eerste seconde 1 duim bedraagt. Wanneer het ondereinde van dat gewigt *m* hetwelk met het overwigt verbonden is, zich ter hoogte van het nulpunt der schaal bevindt, dan zal het gewigt eene seconde na den aanvang der beweging, zich bevinden bij de streep die het naast bij het nulpunt gelegen is.

Wanneer de ruimte van den val in de eerste seconde 1 duim is, dan moet er in de twee eerste seconden een weg van 4 duimen worden afgelegd; indien men derhalve de benedenste schuif bij 4 duim beneden het nulpunt stelt, dan zal het gewigt, dat bij het nulpunt zijne beweging begonnen heeft, op het einde van de tweede seconde bij deze schuif aankomen. Laat men de beweging altijd in hetzelfde punt, d. i. in het nulpunt van de schaal, eenen aanvang nemen, dan moet men de schuif 9, 16, 25, 36, 49, 64 duim beneden het genoemde punt stellen, om het gewigt na verloop van 3, 4, 5, 6, 7, 8 seconden te doen aanslaan. De proefneming bevestigt ten volle de wet, dat de ruimten van den val zich verhouden, als de vierkanten der tijden van den val.

Boven is door ons aangetoond, dat deze wet volgt uit de veronderstelling, dat de snelheid toeneemt in rede tot den tijd van den val. Het resultaat bewijst ook de juistheid van de veronderstelling. Op eene regtstreeksche wijze kan men de verhouding tusschen den tijd van den val en de snelheid van het ligchaam in eenig oogenblik, noch bij den vrijen val, noch bij het hellend vlak nagaan, want daartoe zou de snelheid des van dat oogenblik af niet meer moeten toenemen,

men zou derhalve plotseling de werking der zwaartekracht op het ligchaam moeten kunnen vernietigen. Met behulp van dit werktuig kan men inderdaad bewerken, dat de versnellende kracht op eenig oogenblik ophoudt te werken. De versnellende kracht toch is enkel de zwaarte van het overwigt *n;* wanneer men nu aan dit overwigt de gedaante geeft van de nevenstaande Figuur, dan kan men het met de doorboorde schuif naar verkiezing opvangen, op ieder oogenblik wanneer men zulks goedvindt, terwijl dan de massa's *m* haren weg zullen blijven voortzetten met gelijkmatige snelheid, omdat er van dat oogenblik af geene versnellende kracht meer op dezelve werkt. Wij kunnen derhalve door middel van dezen toestel regtstreeks de snelheid in eenig oogenblik bepalen, door den weg die in de volgende seconde wordt afgelegd.

Fig. 132.



Wij hebben boven gezien, dat, wanneer *g* de snelheid van het ligchaam in de eerste seconde van den val is, de ruimte, welke in de eerste seconde wordt afgelegd $\frac{1}{2}$ *g* is. Wanneer wij nu alles zoodanig ingerigt hebben, dat er in de eerste seconde een duim doorloopen wordt, dan moet bijgevolg de eindsnelheid der eerste seconde 2 duim zijn, d. i. wanneer op het einde van de eerste seconde de versnellende kracht ophoudt te werken, dan zal het ligchaam in de volgende seconde den weg van 2 duim met gelijkmatige snelheid afleggen.

Dat deze verhouding tusschen den tijd van den val en de snelheid werkelijk bestaat, kan men gemakkelijk op de volgende wijze aantoonen: Men stelle vóór den aanvang der beweging de gewigten $m + n$ zoodanig, dat de onderste oppervlakte van *n* ter hoogte van het nulpunt der schaal staat; de doorboorde schuif stelt men zoodanig, dat hare bovenste oppervlakte bij 1 duim staat, doch de onderste schuif wordt op die wijze geplaatst, dat hare benedenste oppervlakte zoo ver beneden 3 duim te staan komt, als de hoogte van het gewigt *m* bedraagt. Wanneer men nu op een bepaald oogenblik het gewigt loslaat, dan zal na verloop van eene seconde het overwigt, en na twee seconden het gewigt *m* zelf aanslaan. Het bovenste punt van het gewigt *m* heeft derhalve in de eerste seconde den weg van o tot 1 met versnellende snelheid, en in de tweede seconde den weg van 1 tot 3 met gelijkmatige snelheid afgelegd.

Dat de snelheid na verwijdering van het overwigt werkelijk gelijkmatig is, blijkt daaruit, dat, wanneer men, zonder overigens iets te veranderen, de onderste schuif 2, 4, 6, 8, 10 duimen lager stelt, de aanslag 1, 2, 3, 4, 5 seconden later volgt, en er dus in elke volgende seconde een weg van 2 duimen wordt afgelegd.

Indien men het overwigt *n* zoodanig had ingerigt, dat er in de eerste seconde 2, 3, 4 enz. duimen afstands afgelegd waren geworden, dan zou er in de tweede seconde een weg van

4, 6, 8 duim zijn afgelegd, wanneer men op het einde van de eerste seconde het overwigt had weggenomen.

Boven is door ons aangetoond, dat, zoo de snelheid op het einde der eerste seconde g is, de eindsnelheid der 2[e], 3[e], 4[e] seconde 2 g, 3 g, 4 g is. De proefneming bevestigt dit geheel en al. Stellen wij wederom, dat het overwigt n zoodanig genomen zij, dat er in de eerste seconde 1 duim, in twee seconden derhalve 4 duimen doorloopen worden, dan zal er, wanneer men het overwigt op het einde der eerste seconde opvangt, in elke der volgende seconden een weg van 4 duim doorloopen worden; zoo men het overwigt eerst op het einde der 3[e] of 4[e] seconde had opgevangen, nadat er dus een weg van 12 of 16 duim was afgelegd, dan zou de beweging met eene gelijkmatige snelheid van 6 of 8 duim voortgeduurd hebben.

Bij den vrijen val bedraagt de waardij van g iets meer dan 30 voet. Bij de behandeling van den slinger zullen wij eene meer naauwkeurige opgave van deze waarde vinden. Bij den vrijen val zou derhalve, ingevolge de boven beschrevene wetten, de weg, die in de eerste seconde van den val wordt afgelegd, omtrent 15 Parijsche voeten bedragen, en in 2, 3, 4 seconden, moest de ruimte van den val dus 60′, 135′, 240′ enz. zijn.

Door GALILEI zelven zijn er proeven omtrent den vrijen val bewerkstelligd. Later zijn deze door RICCIOLI en GRIMALDI herhaald op den toren Degli Asinelli te *Bologne*. De naauwkeurigste onderzoekingen in dit opzigt zijn door DECHALLES gedaan. De waargenomen ruimten van den val zijn altijd kleiner, dan men volgens theoretische gronden zou verwachten. Dit verschil is echter slechts afhankelijk van den wederstand der lucht, die toeneemt in evenredigheid van het vierkant der snelheid. Bij het werktuig van ATWOOD en dat van GALILEI is de wederstand van de lucht zonder invloed.

72 Het is menigmaal van belang, om uit de gegevene hoogten van den val de daaraan beantwoordende snelheid te kunnen berekenen. Eene formule, volgens welke men zulks kan berekenen, wordt gevonden uit de formulen $v = g.t$ en $s = \frac{g}{2} t^2$. Door aftrekking van t vindt men

$$v = \sqrt{2 g s}.$$

De snelheden verhouden zich dus gelijk de vierkantswortels uit de ruimten van den val. Indien b. v. een ligchaam van eene hoogte van 100 voet gevallen ware, dan is volgens deze formule zijne snelheid $v = \sqrt{2.30.100} = 77,4..$ voet (natuurlijk zonder daarbij den weêrstand der lucht in aanmerking te nemen).

Wanneer een ligchaam door eenigen stoot omhoog geworpen wordt, dan zal het met verminderde snelheid opstijgen, na verloop van eenigen tijd houdt de omhoog gaande beweging op, en het begint te vallen. De wetten van deze beweging volgen onmiddelijk uit de voorgaande.

Gesteld, het ligchaam zij omhoog geworpen met eene snelheid van 150′, dan zou het, indien de zwaarte niet werkte, in elke seconde 150′ stijgen. Doch daar de zwaarte aan een vallend ligchaam in 1, 2, 3, 4, 5 seconden eene snelheid van 30′, 60′, 90′, 120′, 150′ enz. mededeelt, en deze snelheid tegenovergesteld is aan de rigting van onze bovengenoemde beweging, is het duidelijk, dat de snelheid van het stijgende ligchaam op het einde van de eerste seconde 150—30 = 120′ is; op het einde der tweede seconde is deze snelheid 150—60 = 90′; op het einde der derde 150—90 = 60′; op het einde van de vierde 150—120 = 30′; op het einde der vijfde eindelijk 150—150 = 0′, en nu begint het ligchaam te vallen. Hier hebben wij dus een voorbeeld van eene gelijkmatig vertraagde beweging, want de snelheid van het stijgende ligchaam neemt in iedere seconde evenveel, namelijk 30′ af.

Laat ons dit meer algemeen toepassen. De snelheid in den aanvang van het stijgen zij n, dan is de snelheid van het ligchaam na verloop van t seconden

$$v = n - g\,t.$$

Het opstijgen houdt op, wanneer $n = g\,t$ is, d. i. wanneer de in t seconden verkregene snelheid van den val gelijk is aan de snelheid, waarmede het ligchaam aanving te stijgen.

De tijd, welken het ligchaam behoeft, om het einde van zijne baan te bereiken, is

$$t = \frac{n}{g}.$$

Laat ons nu trachten om de hoogte te bepalen, welke het stijgende ligchaam na eenen gegevenen tijd bereikt heeft. In het boven vermelde voorbeeld, zou het ligchaam na verloop van 1, 2, 3 enz. seconden de hoogte van 150, 300, 400 enz. voeten bereikt hebben, zoo niet de zwaarte het naar omlaag trok. Gelijk wij echter gezien hebben, trekt de zwaarte het in de eerste seconde 15 voet naar beneden, in twee seconden 4.15 of 60′, in drie seconden 9.15 of 135′. De hoogte die het ligchaam bereikt, is derhalve na verloop van de eerste seconde 150—15= 135′; op het einde der tweede en derde seconde is deszelfs hoogte 300—60 = 240′, 450—135 = 315′ enz. Na verloop van vijf seconden zou het de hoogte van 750′ bereikt hebben, maar is door de werking der zwaarte $15 \times 5^2 = 375'$ naar beneden getrokken, het bevindt zich dus werkelijk op eene hoogte van 750—375 = 375 voet, en begint nu weder te vallen.

Beschouwen wij de zaak meer algemeen. In t seconden zou het ligchaam, ten gevolge zijner oorspronkelijke snelheid n, tot de hoogte $n\,t$ stijgen, doch is door de zwaarte omlaag getrokken voor het gedeelte $\frac{g}{2}\,t^2$, deszelfs werkelijke hoog is bijgevolg

$$h = n\,t - \frac{g}{2}\,t^2.$$

Het ligchaam stijgt, zoo lang $n\,t$ nog grooter is dan $\frac{g}{2}\,t^2$. Dewijl het uiteinde van de baan bereikt wordt, wanneer $t = \frac{n}{g}$ is, vindt men de hoogte van het ligchaam op dit oogenblik, wanneer men in de bovenstaande formule voor h in de plaats van t deze waardij stelt, men vindt

$$h = \frac{n^2}{g} - \frac{gn^2}{2g^2} = \frac{n^2}{g} - \frac{n^2}{2g} = \frac{n^2}{2g}.$$

In $\frac{n}{g}$ seconden doorloopt echter een vrij vallend ligchaam eene ruimte van

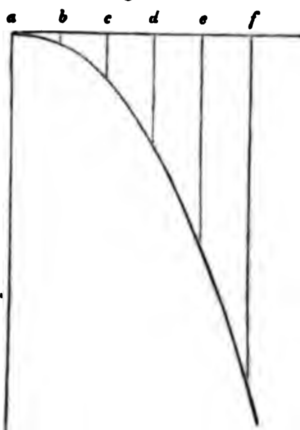
$$\frac{g}{2}\cdot\frac{n^2}{g^2} = \frac{n^2}{2g}.$$

Daaruit volgt, dat het ligchaam juist even veel tijd behoeft voor het vallen als voor het stijgen.

Wij moeten nu de snelheid zoeken, met welke het vallende ligchaam wederom aankomt in het punt, waaruit het de stijgende beweging begon. Wij vinden deze ingevolge de formule $v = g\,t$; maar daar de tijd van den val $t = \frac{n}{g}$ is, volgt daaruit $v = n$, d. i. *het ligchaam komt weder met dezelfde snelheid beneden, met welke het aanving te stijgen;* of *om een ligchaam tot op eene hoogte h loodregt omhoog te voeren, moet men het eene aanvangssnelheid mededeelen, die juist zoo groot is als die, welke het door den vrijen val van de hoogte h verkrijgt.*

73 **Werpbeweging.** Wanneer een ligchaam in eene andere rigting dan de loodregte geworpen wordt, beschrijft het eene kromme lijn, wier gedaante gemakkelijk kan worden afgeleid uit de wetten van den val. Stellen wij het eenvoudigste geval, namelijk dat het ligchaam, door de eene of andere kracht, in eene horizontale rigting zij voortgestooten geworden. Wanneer de zwaarte niet bestond, dan zou het zich voortdurend in eene horizontale rigting bewegen, en wel met gelijkmatige snelheid. Door de kracht van den stoot zou het in de eerste seconde den weg $a\,b$, in de tweede den even grooten weg $b\,c$ enz. afleggen, en zou zich derhalve op het einde van de eerste, tweede, derde enz. seconde in de punten b, c, d, enz. moeten bevinden. Doch ten gevolge van de zwaarte is het gedaald. In de eerste seconde

Fig. 133.



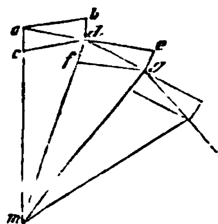
is het 15 voet gevallen, en zal zich dus op het einde der eerste seconde niet in *b*, maar 15 voet beneden *b* bevinden. Op het einde van de tweede seconde is het 60 voet beneden *c*, op het einde van de derde 135 voet beneden *d* enz. De kromme lijn, welke het ligchaam op deze wijze beschrijft, is een parabool.

Indien de stoot in eene andere rigting plaats grijpt, kan men op dezelfde wijze de baan door constructie vinden. De baan, die door een geworpen ligchaam werkelijk beschreven wordt, is, ten gevolge van den wederstand der lucht, eenigzins van den zuiveren parabool afwijkende.

Kromlijnige beweging. Wij hebben nu nog te handelen over eene 74
van die bewegingen, welke door de zwaarte worden voortgebragt, namelijk dat geval, waarin wij de rigtingen der zwaartekracht, op de onderscheidene punten der baan, niet meer als aan elkander evenwijdig kunnen beschouwen. Zoodanige bewegingen nemen wij waar aan de maan, welke om de aarde, bij de planeten, welke om de zon rondloopen.

Stellen wij ons voor, dat het punt *a* (Fig. 134), hetwelk door eene gestadig werkende aantrekkingskracht naar het punt *m* getrokken wordt, bij den aanvang zijner beweging door eenigerhande momenteel werkende kracht, eenen stoot in de rigting van *a b* gekregen had, dan zou het zich noch in de rigting *a b*, noch in de rigting *a c* bewegen, maar in eene andere rigting *a d*, welke men volgens de wet van het paralellogram der krachten kan opsporen. Om de beschouwing eenvoudiger te maken, willen wij aannemen, dat de in de rigting van *m* werkzame aantrekkingskracht, stootsgewijs, bij kleine tusschenpoozen, werkt. Men zal bij deze beschouwing des te nader bij de waarheid blijven, hoe kleiner tusschenpoozen men zich denkt.

Fig. 134.

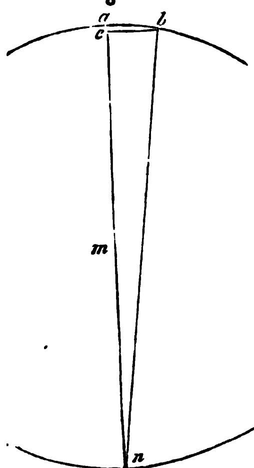


Wanneer de stoot in zijdelingsche rigting voor zich alleen het punt *t* in de kleine tijdruimte *t* van *a* naar *b* zou voeren, en de aantrekkende kracht, indien zij alleen werkzaam was, het in denzelfden tijd naar *c* zou voeren, dan beweegt het zich, onder de inwerking van beide krachten, in de tijdruimte *t* van *a* naar *d*. In *d* aangekomen zijnde, zou het zich in de rigting *d e* voortbewegen, en wel zoude in den tijd *t* de baan *d e* even zoo groot zijn als *a d*, zoo niet de aantrekkende kracht op nieuw werkte, en wel zoodanig, als of aan het ligchaam in *d* een stoot ware medegedeeld, die, zoo zij alleen werkzaam was, het punt in den tijd *t* van *d* naar *f* zoude hebben gevoerd. Door deze herhaalde inwerking van de aantrekkende kracht, wordt derhalve het ligchaam weder uit de rigting *d e* getrokken, en naar *g* gevoerd. Hieruit kan men ligtelijk opmaken, dat, wanneer het ligchaam in *a* eenmaal eenen zijdelingschen stoot erlangd heeft, de aantrekkende kracht daarbij echter stootsgewijze, bij kleine tusschen-

poozen, werkt, het ligchaam eenen veelhoek moet beschrijven, die des te meer tot de kromme lijn nadert, hoe kleiner elke tusschenpoos is. Wanneer de aantrekkende kracht gestadig werkzaam is, zoo als in de natuur wezenlijk het geval is, dan stelt de baan werkelijk eene kromme lijn daar, wier soort afhankelijk is van de verhouding der krachten, onder wier inwerking zij beschreven wordt. De kracht, waardoor het ligchaam steeds naar het middelpunt van aantrekking getrokken wordt, noemt men *middelpunttrekkende kracht.* Indien op eenig oogenblik van de centraal beweging de middelpunttrekkende kracht ophield te werken, dan zou van dat oogenblik af het ligchaam zich voortbewegen in de rigting der raaklijn, en wel met eene kracht, die den naam van *middelpuntvliedende kracht* draagt. Naarmate der verhouding tusschen de middelpunttrekkende en de middelpuntvliedende kracht, kan de baan een cirkel, eene ellips, enz. zijn.

Laat ons nu trachten, om de grootte der middelpunttrekkende kracht te bepalen, door welke de maan, bij hare beweging om de aarde, naar het middelpunt derzelve getrokken wordt.— De omvang van de aarde bedraagt 40 millioen ellen; doch dewijl de diameter der baan van de maan gelijk is aan 60 diameters van de aarde, bedraagt de omvang van de maan 2400 millioen ellen. Deze weg wordt door de maan afgelegd in 27 dagen, 7 uren en 43 minuten, of wat het zelfde is, in 39343 minuten. In elke minuut doorloopt zij derhalve eenen weg van $\frac{2400000000}{39343}$ of 61000 ellen. In Fig. 135 zij *a b* de boog van 61000 ellen, welken de maan in eene minuut doorloopt; dan is *a c* de afstand met welken de maan in eene minuut de aarde zou naderen, indien de werking der middelpuntvliedende kracht plotseling kon vernietigd worden. De grootte van dezen afstand *a c* kunnen wij berekenen, zoo wij den boog *a b* beschouwen als eene regte lijn, van welke hij inderdaad ook slechts onmerkbaar verschilt: *a b n* is een regthoekige driehoek, *b c* eene van den top des regten hoeks op de hypothenusa getrokken loodlijn, en onder deze omstandigheden is, gelijk eene bekende stelling der meetkunde leert, *a b* de midden-evenredige tusschen *a c* en *a n*, derhalve

Fig. 135.



$$a b^2 = a c \times a n$$

en daaruit volgt

$$a c = \frac{a b^2}{a n}$$

Nu hebben wij evenwel gezien, dat $a b = 61000$ el is, terwijl

a n, de diameter der loopbaan van de maan, 763950000 el bedragt. Indien men deze getallen in de plaats van *a b* en *a n* in de laatste vergelijking stelt, dan komt

$$a\,c = 4{,}87 \text{ el},$$

d. i. de ruimte van den val der maan naar de aarde bedraagt in eene minuut 4,87 el.

Door welke kracht wordt evenwel deze werking voortgebragt? Is het dezelfde kracht, welke den steen ter aarde doet vallen? Indien wij aannemen, dat de zwaartekracht, welke wij op de oppervlakte der aarde zien werken, ook nog buiten onze atmospheer werkzaam is, dat zij tot aan de maan zich uitstrekt, dan kunnen wij wel begrijpen, dat hare intensiteit naar mate van haren afstand van de aarde verminderen moet. Uit eene eenvoudige sluitrede, die wij bij de leer van het licht nader beschouwen zullen, begrijpen wij, dat de intensiteit van alle werkingen, die van eenig punt uitgaan, in omgekeerde verhouding staat tot het vierkant van den afstand. Bijgevolg moet de intensiteit der zwaartekracht op den dubbelen, driedubbelen, vierdubbelen enz. afstand van het middelpunt der aarde ook 4 maal, 9 maal, 16 maal zwakker zijn. Bij de maan is zij derhalve 60^2 of 3600 maal zwakker dan op de oppervlakte der aarde, omdat immers de maan 60 maal verder van het middelpunt der aarde verwijderd is. Wanneer diensvolgens de ruimte van den val in de eerste seconde op de oppervlakte der aarde 4,9 el bedraagt, dan moet de ruimte van den val der maan naar de aarde in eene seconde $\frac{49}{60^2}$ el, derhalve in eene minuut, dus in 60 seconden, $\frac{49}{60^2} \cdot 60 =$ 4,9 el bedragen. Dat is, de ruimte van den val, welke de maan in eene minuut bij den val naar de aarde doorloopt, moet zoo groot zijn, als de ruimte van den val in de eerste seconde van den val op de oppervlakte der aarde.

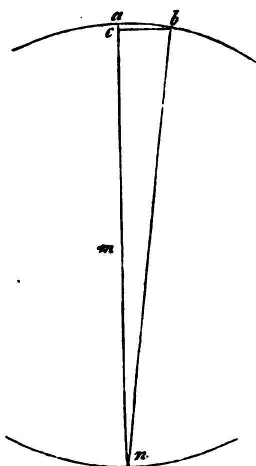
Wanneer wij de hier berekende ruimte, 4,9 el in de minuut, van den val der maan naar de aarde vergelijken met de boven uit astronomische berekeningen afgeleide, 4,87 el, dan vinden wij inderdaad slechts een zeer gering verschil, en dit zelfs zoude geheel en al vervallen, zoo wij niet, ter vereenvoudiging van de berekening, benaderde waardijen gesteld hadden. Zoo hebben wij bij den omlooptijd der maan de seconden geheel en al buiten rekening gelaten, en den afstand der maan van de aarde gelijk aan 60 diameters der aarde gesteld, ofschoon zij 60,16 diameters der aarde bedraagt.

Op dezelfde wijze laat zich de beweging der planeten rondom de zon verklaren, en zoo is het dan eene en dezelfde kracht, welke den steen ter aarde doet vallen, die, door alle hemelruimten werkzaam, de harmonie van ons planeten-stelsel onderhoudt. De kennis van deze gewigtige natuurwet zijn wij verschuldigd aan de scherpzinnigheid en de onvermoeide vlijt van NEWTON.

Reeds deze ontdekking alleen zou voldoende zijn, om hem eenen onsterfelijken roem te waarborgen.

Langs denzelfden weg, langs welken wij de grootte der middelpunttrekkende kracht bij de beweging der maan hebben leeren kennen, kunnen wij ook eene algemeene formule voor deze kracht vinden. Stellen wij als maatstaf van de middelpunttrekkende kracht den weg $a\ c$, rondom welken het ligchaam bij zijne centraal-beweging in de tijdseenheid naar het middelpunt van aantrekking getrokken wordt, en duiden wij dezen weg aan door p, dan is, gelijk boven ontwikkeld is geworden, $p = \frac{a\,b^2}{a\,n}$. Nu wordt echter de boog $a\,b$ door het ligchaam in de gegevene tijdseenheid werkelijk doorloopen, en derhalve is $a\,b = \frac{2\pi r}{t}$, wanneer r de straal van de cirkelvormige baan is, en t den omloopstijd voorstelt. Voorts is $a\,n$ de diameter van deze baan, en dus gelijk aan $2\,r$. Stellen wij p in de plaats der waardijen van $a\,b$ en $a\,n$ dan komt

Fig. 136.

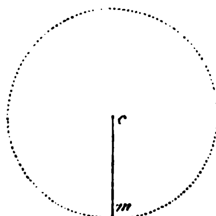


$$p = \frac{2\pi^2 r}{t^2}.$$

Dat is, wanneer twee ligchamen zich in verschillende kringen en in verschillenden omloopstijd bewegen, dan *verhouden de middelpunttrekkende krachten zich evenredig aan de diameters der beschrevene kringen en omgekeerd evenredig aan de vierkanten der omloopstijden.*

Wanneer een kleine kogel, dien wij ons als eene massa zonder gewigt zullen denken, aan het einde van eene koord in m bevestigd, rondom het punt c geslingerd wordt, zoodat de kogel eenen kring om het middelpunt c beschrijft, dan zal de koord onophoudelijk eene spanning ondergaan, die vermeerdert in verhouding tot de snelheid van het ronddraaijen. Indien de koord op eenig oogenblik doorsneden werd, dan zou de kogel zich niet meer in eenen kring bewegen, maar, ten gevolge van zijne traagheid, zich in tangentiale rigting van zijne vroegere baan verwijderen.

Fig. 137.



De oorzaak der spanning, welke het touw ondergaat, noemt men *middelpuntvliedende kracht.* Dewijl echter de wederstand van het touw hetzelfde uitwerksel voortbrengt, als de centripetale kracht, die wij boven bij de middelpuntsbeweging beschouwd hebben, is het duidelijk,

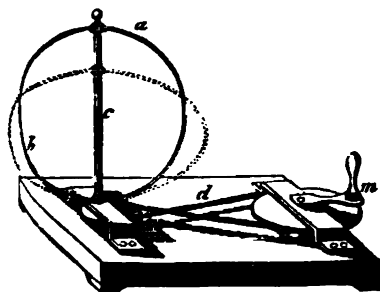
dat de centrifugale kracht gelijk en tegenovergesteld is aan de centripetale kracht, en dat alles, wat omtrent deze kracht gezegd is, ook geldt voor de centrifugale kracht, d. i. de drijfkracht neemt toe in verhouding tot den diameter van de banen en in omgekeerde evenredigheid tot de vierkanten der omloopstijden. Dat de spanning van den draad, derhalve ook de drijfkracht, aan de ronddraaijende massa evenredig is, begrijpt men van zelfs.

Overal, waar beweging rondom eene vaste as plaats grijpt, en de afzonderlijke deeltjes op eenigerhande wijze verhinderd worden zich van die as te verwijderen, bestaat drijfkracht. Zoodanige drijfkracht moet er dus ook voortgebragt worden bij de beweging der aarde om haren as. Dewijl de omloopstijd voor alle punten op de aarde even groot is, doch de verschillende punten niet alle even verre van de as verwijderd zijn, is het duidelijk, dat deze drijfkracht niet overal op de oppervlakte van de aarde gelijk is, maar zich verhouden moet als de afstanden dier punten van de as der aarde; aan de polen is zij dus nul, en bereikt aan den aequator haar maximum.

Deze drijfkracht, die het grootste is aan den aequator, en naar de polen toe afneemt, werkt in tegenovergestelde rigting van de zwaarte; zij vermindert als het ware de intensiteit van de zwaarte. Gemakkelijk kan men berekenen, met welke snelheid de aarde om hare as zich zou moeten bewegen, zoo de daardoor veroorzaakte drijfkracht aan den aequator de werking der zwaarte geheel en al te niet zou maken.

Voor het bewerkstelligen van proeven omtrent de drijfkracht, kan men zich met vrucht van den in Fig. 138 voorgestelden toestel bedienen. Wij willen hier evenwel slechts eene proeve aanvoeren, waardoor de afplatting van de aarde verklaard wordt.

Fig. 138.

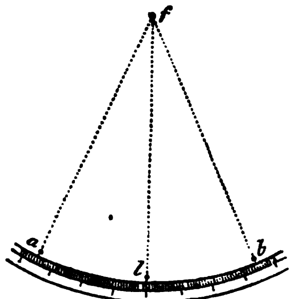


Door middel van de kruk *m*, wordt de horizontale schijf, die zich beneden die kruk bevindt, ronddraaid. De beweging van deze schijf plant zich, door middel van eene koord *d*, op eene andere schijf van kleinere doorsnede voort. Gelijk zich begrijpen laat, moet de kleine schijf in gelijken tijd altijd meer omdraaijingen maken dan de groote, en wel naar evenredigheid van de doorsneden der schijven. Met de kleine schijf wordt ook de loodregte as *a c*, die op het midden der schijf bevestigd is, rondgedraaid. Eene veêr *a b*, die aan het ondereinde van de as bevestigd is, doch wier boveneinde zich vrij op en neder bewegen kan, en die in den toestand van rust eene cir

kelvormige gedaante heeft, zal bij het snelle ronddraaijen eene elliptische gedaante aannemen, omdat de vliegkracht het grootste is op die punten der veer, die het verst van de as verwijderd zijn.

75 **Over den slinger.** De gewone slinger (Fig. 139) bestaat uit eenen zwaren kogel, die aan het uiteinde van eenen buigzamen draad hangt. Wanneer men den kogel uit den toestand van evenwigt brengt, d. i. wanneer men den slinger uit zijnen loodregten stand brengt, dan maakt hij, zoo men hem, zonder hem den minsten stoot te geven, los laat, slingeringen, die voortdurend in hetzelfde verticale vlak blijven. Wanneer men b. v. den slinger in den stand *f a* brengt, dan beschrijft de kogel den boog *a l*, in *l* komt hij met zulk eene snelheid aan, dat hij aan de andere zijde tot aan *b* opklimt, d. i. tot op de hoogte van het punt *a;* van het punt *b* komt de kogel weder terug, doorloopt in omgekeerde rigting weder den boog *b l a*, en vervolgt op deze wijze zijne slingeringen. Bij het nederdalen van den slinger neemt zijne snelheid steeds toe, bij het opklimmen neemt zij af, en derhalve heeft de slinger zijne grootste snelheid op het oogenblik, dat hij door den evenwigts-stand gaat.

Fig. 139.



De hoek *a f l* heet *hoek van doorslag*, of ook wel eenvoudig *doorslag*. De beweging van *a* naar *b*, of van *b* naar *a* noemt men eene slingering; van *a* naar *l* is eene halve nederdaling, van *l* naar *b* eene halve opklimmende slingering. De *ruimte* eener slingering is de in graden, minuten, en seconden uitgedrukte grootte van den boog *a b*.

De *duur* van eene slingering is de tijd, welken de slinger behoeft, om dezen boog te doorloopen.

Op het eerste gezigt zou men uit de proeven besluiten, dat de beweging van eenen slinger altijd zou moeten voortduren, want wanneer hij, van *a* uitgaande, aan de andere zijde tot op eene gelijke hoogte *b* opklimt, dan moet hij, van *b* uitgaande, ook weder opklimmen tot *a*, en zoo zoude hij denzelfden weg ten tweeden en derden male, ja tot in het oneindige moeten afleggen.

Dit besluit zou zeer juist zijn, indien de hoogte van *b* wezenlijk volstrekt gelijk aan die van *a* ware; doch de wrijving aan het hangpunt *f*, en de wederstand van de lucht, welke door den kogel moet worden voortgedreven, maken het onmogelijk, dat de kogel weder naauwkeurig dezelfde hoogte bereikt, als die van welke hij gevallen is. Dit verschil wordt evenwel eerst merkbaar na eene reeks van slingeringen, en in plaats dat men zich verwondere, dat de beweging niet eeuwig voortduurt, moet men zich veeleer verwonderen, dat zij zoo lang voortduurt, want een slinger kan, zonder stilstaan, uren lang blijven slingeren.

Wetten der slingerbeweging. De wetten der beweging van eenvoudige slingers zijn de volgende: 76

1°. De duur der slingering is onafhankelijk van het gewigt van den kogel, en van den aard zijner zelfstandigheid.

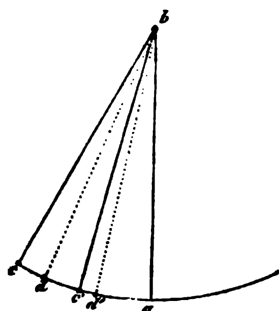
Om dit te bewijzen, neme men onderscheidene slingers van gelijke lengte; de kogel van den eenen slinger zij van metaal, die van den anderen van was, de derde van hout enz., en men zal bevinden, dat bij alle de slingeringen even lang duren.

Wanneer de zwaarte eenen slinger doet bewegen, dan werkt hij op elk atome der stof, uit welke de kogel bestaat; elk atome van den kogel wordt door zijne eigene zwaarte in beweging gebragt, en bij gevolg kan eene vermeerdering der atomen ook geenen invloed op de snelheid der slingeringen uitoefenen. Indien het mogelijk ware, om een enkel atome ijzer aan eenen draad zonder gewigt te hangen, dan zou het even zoo snel moeten slingeren, als wanneer men twee, drie, of vier dergelijke atomen, of wel eenen kogel van ijzer aan den draad hing. Het zou echter kunnen zijn, dat de zwaarte op een molecule van was anders werkte dan op een molecule van ijzer. Dat dit niet het geval is, en dat de zwaarte op een molecule van ijzer niet anders werkt dan op een molecule van goud, platina, was enz., bewijst ons deze proef met den slinger. De boven vermelde proef omtrent den val der ligchamen in het luchtledige, is slechts eene ruwe proef, omdat wij hier alleen de werking der zwaarte gedurende eenen buitengewoon korten tijd kunnen waarnemen. Door den slinger echter is het ons mogelijk, om de werking der zwaarte op onderscheidene ligchamen gedurende uren waar te nemen.

2°. De duur van *kleine* slingeringen van een en denzelfden slinger, is onafhankelijk van de grootte der slingeringen. Wanneer b. v. een slinger zich beweegt met eene slingerwijdte van 4—5°, dan duurt de slingering even zoo lang, alsof de afwijking slechts 1° bedroeg.

Op de navolgende wijze kan men deze wet afleiden. Wanneer de hoek van afwijking niet al te groot is, dan is de neiging der baan naar de horizontale lijn evenredig aan den afstand van den evenwigtsstand. Denken wij ons b. v. in *c* Fig. 140, eene raaklijn aan den boog getrokken, dan maakt zij met de horizontale lijn eenen hoek, die eens zoo groot is als die, welken eene in *c'* aan de baan getrokkene raaklijn met de horizontale lijn maakt, — gesteld ten minste, dat de boog *c' a* half zoo groot is als de boog *c a;* wanneer derhalve de slinger in *c* zijne beweging begint, is de versnellende kracht eens zoo groot, dan wanneer de nederdaling van uit *c'* eenen aanvang neemt; de boog *c d*, dien wij zoo klein willen stel-

Fig. 140.



len, dat wij denzelven als regtlijnig kunnen beschouwen, en de boog *c' d'* die slechts half zoo groot is, worden derhalve in gelijke tijden doorloopen, wanneer de beweging in het eerste geval in *c*, in het tweede in *c'* eenen aanvang neemt.

Denken wij ons aan eene as twee gelijke slingers gehangen, de eene tot in *c*, de andere tot in *c'* opgeheven, en beide te gelijkertijd losgelaten, dan zullen zij op denzelfden tijd in de punten *d* en *d'* aankomen. De versnellende kracht is in *d* evenwel eens zoo groot als in *d'*, daarenboven komt de eene slinger in *d* met eene snelheid, die eens zoo groot is als die, met welke de andere slinger langs het punt *d'* gaat, en daaruit volgt dus, dat ook in de naaste kleine tijddeeltjes de weg, dien de eene slinger aflegt, eens zoo groot is als de andere. Op deze wijze voortredenerende, vindt men eindelijk, dat beide slingers gelijktijdig in *a* moeten aankomen.

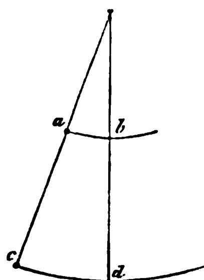
Dit zelfde vindt ook nog zijne toepassing, wanneer de verhouding van den doorslaghoek niet juist als 1 tot 2 staat, maar eenen anderen hoek maakt, omdat voor kleine doorslaghoeken de versnellende kracht steeds evenredig is aan den afstand van den evenwigtsstand; en zoo kan men in het algemeen aantoonen, dat de duur der slingering tot op eenen zekeren grens onafhankelijk is van den doorslaghoek.

Ten einde deze wet door eene proef te bevestigen, moet men met naauwkeurigheid den tijd bepalen, die er noodig is, opdat de slinger eenige honderde slingeringen maakt. Zoo men dit waarneemt bij den aanvang der beweging, wanneer de ruimte van de slingering 4—5° bedraagt, daarna, wanneer zij nog slechts 2—3° bedraagt, en ten laatste, wanneer de slingeringen zoo klein geworden zijn, dat men ze met de loupe moet waarnemen, dan vindt men, dat de slingeringen in deze drie tijdperken werkelijk isochroon zijn.

3°. De duur der slingering van twee slingers van ongelijke lengte, verhoudt zich als de vierkantswortel der lengten van de slingers.

Men denke zich den slingerboog *a b* van eenen slinger in zoo veel gelijke deelen verdeeld, dat men ieder dezer deeltjes als regtlijnig kan beschouwen. Wanneer nu de doorslaghoek van eenen langeren slinger even groot is, moet zich de slingerboog *c d* verhouden tot den slingerboog *a b*, als de lengten der slingers. Denken wij ons den boog *d c* in even zoo veel gelijke deelen verdeeld als den boog *a b*, dan zullen ook de afzonderlijke deeltjes tot elkander staan, als de lengten der slingers. Wanneer derhalve de eene slinger vier maal langer is dan de andere, dan zullen ook de onder-afdeelingen van den boog *d c* viermaal grooter zijn dan de beantwoordende deelen van den

Fig. 141.

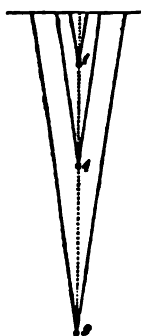


boog *a b*. De hoek, welken het bovenste, het tweede, derde enz. gedeelte van den boog *a b* met de horizontale lijn maakt, is gelijk aan den hoek, welken het eerste, tweede, derde, enz. gedeelte van den boog *c d* met haar maakt, en op de aan elkander beantwoordende deelen van *a b* en *c d* is bijgevolg ook de versnellende kracht gelijk.

Doch wanneer verschillende wegen met eene gelijke versnellende kracht doorloopen worden, leert ons de formule $s = \frac{g}{2} t^2$, dat de tijden van den val zich verhouden als de vierkantswortels der ruimten van den val; wanneer derhalve ieder gedeelte van *c d* 2-, 3-, 4-, *n* maal zoo groot is als het daaraan beantwoordende deeltje van *a b*, dan zal de tijd, in welken een gedeelte van *c d* doorloopen wordt, ook $\sqrt{2}$, $\sqrt{3}$, $\sqrt{4}$, $\sqrt{n}$ maal zoo groot zijn als die, in welken het overeenkomstige deeltje van *a b* doorloopen wordt. Daar zulks evenwel voor alle deeltjes geldt, geldt het ook voor de som derzelve, hetgeen met andere woorden aanduidt, dat de duur der slingering gelijk is aan den vierkantswortel uit de lengte des slingers.

Om de juistheid van de derde wet door eene proef aan te toonen, neme men 3 slingers van verschillende lengte. Wanneer zich de lengten der slingers b. v. verhouden als de getallen 1, 4, 9, dan verhouden zich de beantwoordende slingertijden als de getallen 1, 2, 3. Het best bedient men zich tot deze proeve van kogels aan eenen dubbelen draad gehangen, zoo als de nevenstaande Fig. aantoont. Terwijl een slinger van 4 voet lengte ééne slingering maakt, maakt de viermaal kortere slinger twee slingeringen; en terwijl een slinger van 1 voet lengte drie maal heen en weêr gaat, volbrengt een slinger van 9 voet slechts eene slingering.

Fig. 142.



De lengte van eenen eenvoudigen slinger, welke seconden aantoont, bedraagt 994 millimeters; indien men derhalve de lengte van den secondenslinger voor eenheid aangenomen had, zoude zij van de lengte der el slechts weinig verschillen.

Hoeveelheid van beweging. De meeste krachten, die de ligchamen 77
in beweging brengen, werken regtstreeks slechts op een klein gedeelte van de moleculen, waaruit de ligchamen bestaan. Wanneer men tegen eenen billardbal stoot, raakt men slechts weinig punten van de oppervlakte aan. Indien de wind een schip voortdrijft, drukt het enkel tegen de zeilen, en zoo het buskruid eenen kogel voortwerpt, dan raken de gazen, die bij hun vrij worden de drukking te weeg brengen en den kogel zijne snelheid mededeelen, slechts tegen zijne halve oppervlakte. Des niet te min bewegen zich alle deelen des ligchaams, zoo wel die,

welke regtstreeks zijn geraakt, als de andere. De beweging moet zich bijgevolg gelijkmatig over alle moleculen verdeelen, op dat er geen derzelve vooruitsnelt, en geen achter blijft. Die, welke direct de drukking ondervinden, drijven de naastbijzijnde deeltjes voort, deze de volgende, enz., tot dat eindelijk de geheele massa in beweging komt. Ten einde de beweging van het eene molecule op het andere overga, en zich over de geheele massa verbreide, is er een bepaalde tijd noodig, die wel kort, maar toch niet oneindig klein is.

Wanneer eene kracht op een ligchaam werkt, zoodat de beweging zich over alle deelen zijner massa verbreid heeft, en allen zich met eene gemeenschappelijke snelheid bewegen, dan heeft de kracht hare werking uitgeoefend, zij is dan als het ware in het ligchaam overgegaan, en heeft zich in hetzelve verbreid.

In gevalle derhalve een ligchaam door middel van de hand, door eenen ontspannen veer, door eenen snellen stoot of eene plotselinge uitbarsting is voortgeslingerd geworden, dan beweegt het zich voort, zonder dat de kracht nog verder op hetzelve werkt. Wanneer het in zijne baan door niets werd tegengewerkt, zoo min door de lucht, als door het water of eenig ander ligchaam, en wanneer er volstrekt geene andere kracht meer op hetzelve inwerkte, dan zoude het zich in de rigting van den eersten stoot met gelijkmatige snelheid blijven bewegen, — na verloop van eene eeuw nog zoodanig, als na de eerste seconde. Men kan wel zeggen, dat de werkzaamheid van zoodanige kracht oogenblikkelijk voorbij gaande (momentaneel) is, doch dat hare werking eeuwig voortduurt.

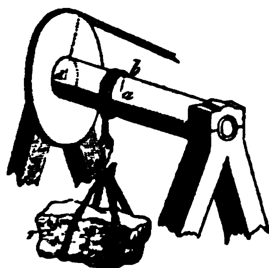
Zoo neemt derhalve het ligchaam eenigermate de kracht in zich op, die op hetzelve heeft ingewerkt, en men begrijpt bijgevolg gemakkelijk, dat dezelfde kracht, op onderscheidene ligchamen werkende, zeer verschillende bewegingen moet voortbrengen. Eene lading buskruid, waardoor een geweerkogel voortgedreven wordt, zou ter naauwernood eenen bom in beweging brengen; en een boog, waarmede een ligte pijl snel wordt voortbewogen, zou niet in staat zijn, eene zwaardere even zoo snel voort te drijven. Men zegt gewoonlijk, dat dit verschil door de zwaarte der ligchamen te weeg gebragt wordt; doch dit is eene onjuiste uitdrukking, want men zou daaruit kunnen besluiten, dat, wanneer de ligchamen ophielden zwaar te zijn, dezelfde kracht alle ligchamen met gelijke snelheid zou doen bewegen, hetgeen volstrekt het geval niet is. Denken wij ons voor een oogenblik de ligchamen zonder zwaarte, nemen wij aan, dat noch door de lucht, noch door iets anders de beweging verhinderd werd, dan zou de geweerkogel toch sneller worden voortgedreven dan de bom, om dat dezelfde kracht des te minder snelheid kan te weeg brengen, hoe meer stof er te bewegen is. Het is eene van de grondstellingen der mechanica, *dat dezelfde kracht*, *op verschillende ligchamen wer-*

kende, aan deze ligchamen snelheden mededeelt, die zich omgekeerd verhouden als hare massa's, d. i. omgekeerd evenredig aan de hoeveelheden stofs, uit welke zij bestaan. Wanneer derhalve door dezelfde kracht looden kogels werden voortgeworpen, wier volumina, en bijgevolg ook hunne massa's, zich verhielden als de getallen 1, 2, 3, 4, enz., dan zoude zij hun de snelheden 1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$, enz. mededeelen, zoo dat eene 10 maal grootere massa ook slechts $\frac{1}{10}$ der snelheid zou verkrijgen, enz. Wanneer men iedere van deze massa's met hare snelheid vermenigvuldigt, dan krijgt men steeds hetzelfde product: voor de eerste $1 \times 1 = 1$, voor de tweede $2 \times \frac{1}{2} = 1$ enz. Dit product, hetwelk men verkrijgt, wanneer men de massa eens ligchaams met zijne snelheid vermenigvuldigt, noemt men *hoeveelheid der beweging.* Dezelfde kracht brengt altijd dezelfde hoeveelheid van beweging voort, op welk ligchaam zij ook werken moge.

Indien men zich eene duidelijke voorstelling wil maken van de wijze van werking der verschillende machinen, dan moet men de hoeveelheid van beweging, welke onmiddellijk door de aangewende kracht kan worden voortgebragt, vergelijken met het uitwerksel, hetwelk men door bemiddeling van de machine verkrijgt. Het ware eene groote dwaling, zoo men eene machine als eene bron van kracht wilde beschouwen, en te gelooven, dat de hoeveelheid van beweging door machinen zou kunnen vermeerderd worden. *Door werktuigen wordt enkel de wijze van beweging veranderd, zonder dat de hoeveelheid van beweging ook slechts in het minste vermeerderd wordt.*

Aan een touw b. v., hetwelk over eene enkelvoudige katrol heen geslagen is, kan men met gemak eenen last van 25 pond met eene snelheid van $2\frac{1}{2}$ voet in de seconde opbeuren. Doch indien het touw, aan hetwelk de werkman trekt, om het rad van een windas, Fig. 143, en de last daarentegen om eenen spil van 4 maal kleineren doormeter geslagen ware, dan zou men wel met dezelfde krachtsinspanning eenen 4 maal zwaarderen last kunnen opwinden, doch zulks ook met 4 maal minder snelheid. Indien wij de wijze van werking van andere werktuigen, van de schroef, het takelgestel, en van de verschillende raderwerken onderzoeken, dan zullen wij altijd tot hetzelfde resultaat komen: dat, wat men aan de eene zijde aan kracht wint, van den anderen kant aan snelheid verloren gaat, dat derhalve de hoeveelheid van beweging der werktuigen volstrekt niet vermeerderd wordt.

Fig. 143.



Wanneer een ligchaam in beweging, stoot tegen een ligchaam dat in rust is, doch zich vrijelijk bewegen kan, dan zal het hieraan een gedeelte van zijne beweging mededeelen, 78

terwijl daarbij de hoeveelheid van de beweging niet veranderd wordt; zoo niet het aanstootende ligchaam ten gevolge van zijne veerkracht terug springt, en wanneer de stoot het middelpunt des ligchaams raakt, zullen beide ligchamen zich, na den stoot, met gelijke snelheid in de zelfde rigting voortbewegen. Wanneer de massa van het rustende ligchaam gelijk is aan die van het in beweging zijnde ligchaam, dan zal de snelheid na den stoot natuurlijk half zoo groot worden, omdat de in beweging gebragte massa verdubbeld is. Men begrijpt ligt, dat, om de verhouding van de snelheid vóór den stoot tot de snelheid na den stoot te vinden, men slechts de massa van het bewegende ligchaam behoeft te deelen door de som der massa's van het in beweging en van het in rust verkeerende ligchaam. Wanneer b. v. een geweerkogel van $\frac{1}{20}$, pond met eene snelheid van 1300 voet in de seconde, eenen in rust zijnden vrij bewegelijken, aan een lang touw opgehangenen kogel van 48 pond treft, dan verhoudt de gemeenschappelijke snelheid na den stoot zich tot 1300, als $\frac{1}{20}$ tot $48 + \frac{1}{20}$ of als 1 tot 961, d. i. zij is nog slechts $\frac{1300}{961}$, d. i. ongeveer $1\frac{1}{3}$ voet in de seconde.

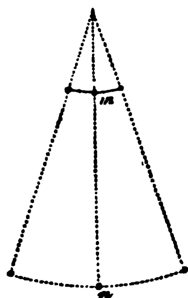
Wanneer deze geweerkogel tegen een groot steenblok of tegen eene rots stoot, dan moet hij daaraan ook eene beweging mededeelen, doch de snelheid zal hier zeer gering zijn; wanneer b. v. het steenblok 500 ponden zwaarte bezat, kan de gemeenschappelijke snelheid na den stoot, zoo als men ligt berekenen kan, slechts 1 duim in de seconde bedragen. De wrijving zal echter spoedig een einde maken aan deze beweging, die zich langzamerhand aan alle naburige ligchamen en eindelijk aan de geheele massa van de aarde zal mededeelen, en daardoor volkomen te niet gaan. De beweging deelt zich derhalve mede aan andere ligchamen, doch gaat niet verloren. Wanneer zij schijnbaar ophoudt, dan is de reden daarin gelegen, dat zij zich langzamerhand aan andere ligchamen mededeelt, en eindelijk, ten gevolge van de groote verdeeling onmerkbaar wordt. Er wordt beweging gevorderd, om beweging te doen ophouden; door wederstand wordt zij slechts verdeeld, zonder dat zij daardoor wordt opgeheven.

79 **De stoffelijke slinger.** De boven ontwikkelde wetten van den slinger zijn, strikt genomen, alleen voor eenen idealen slinger geldig. Zulk eenen slinger kan men zich wel voorstellen, doch niet vervaardigen; want hij zou moeten bestaan uit eenen eenvoudigen draad zonder eenig gewigt, en aan het einde van denzelven mogt enkel een zwaarte bezittend punt aanwezig zijn.

Elke slinger, die niet aan deze beide vereischten voldoet, is een zamengestelde slinger. Een onbuigzame draad zonder gewigt, aan welken zich slechts twee zwaarte bezittende moleculen *m* en *n* bevinden, zou bij gevolg reeds een zamen-

gestelde slinger zijn. De molecule *m*, welke zich nader bij het ophangpunt bevindt dan *n*, heeft neiging om sneller te schommelen; doch daar de beide moleculen met elkander verbonden zijn, zal *m* de beweging van *n* versnellen, en omgekeerd zal *n* de beweging van *m* vertragen; de schommelingen zullen derhalve plaats grijpen met eene snelheid, die het midden houdt tusschen de snelheden, met welke ieder der moleculen op zich zelve zou schommelen. Zij zijn gelijk aan de schommelingen van eenen enkelvoudigen slinger, die langer dan *f m* en korter dan *f n* is. Dit is het geval met elken stoffelijken slinger. Die gedeelten van den slinger namelijk, die het naast bij het middelpunt van slingering gelegen zijn, worden in hunne beweging door de meer verwijderde vertraagd, de meer verwijderde worden daarentegen door de nader bijgelegene versneld. Er moet derhalve ook in elken zamengestelden slinger een punt bestaan, dat door de overige massa van den slinger niet versneld noch vertraagd wordt, dat juist zoo snel slingert als een enkelvoudige slinger, wiens lengte gelijk ware aan den afstand van dit punt tot het hangpunt. Men noemt dit punt *slingerpunt, centrum oscillationis*. Wanneer men spreekt van de lengte van eenen zamengestelden slinger, verstaat men daaronder den afstand van dit punt tot het hangpunt, of, wat hetzelfde is, de lengte eens enkelvoudigen slingers van gelijken slingertijd.

Fig. 144.



Het meest naderen die slingers tot den enkelvoudigen vorm, welke uit eenen dunnen draad bestaan, aan welks ondereinde een kogel van een groot specifiek gewigt hangt. Wanneer de draad een weinig lang en de kogel klein is in verhouding tot de lengte van den draad, dan kan men, zonder groot verschil, het zwaartepunt van den kogel voor het slingerpunt des slingers nemen, of, met andere woorden, men kan zoodanigen slinger als eenen enkelvoudigen beschouwen.

Bij elken stoffelijken slinger, die meer van den enkelvoudigen slinger afwijkt, is daarentegen het slingerpunt niet meer in het zwaartepunt gelegen; door berekening het slingerpunt van eenen stoffelijken slinger te vinden, is in de meeste gevallen moeijelijk, daar men bij deze berekening niet alleen de versnellende kracht der zwaarte, van de afzonderlijke op verschillenden afstand van het hangpunt gelegene stoffelijke deeltjes in aanmerking nemen moet, maar ook den wederstand, welken zij, ten gevolge van de traagheid hunner massa, aan de versnelling bieden.

Dat het slingerpunt van eenen stoffelijken slinger niet met zijn zwaartepunt kan zamenvallen, blijkt het gemakkelijkst uit de beschouwing van eenen zoodanigen slinger, bij welken een gedeelte der massa zich boven het hangpunt bevindt. Zulk

een slinger schommelt merkelijk trager, dan hij zou doen, indien zijn zwaartepunt het slingerpunt ware.

Fig. 145 stelt eenen regten verdeelden staaf voor, die in het midden met een mes voorzien is, zoo als die, welke het draaipunt van eene balans daarstellen. Wanneer men nu 1 palm boven en beneden dit mes eene schijf van lood, ieder b. v. van 2 ponden zwaarte, bevestigt, en het mes op zijn steunsel doet rusten, dan is de staaf met zijne schijven in den toestand van indifferent evenwigt; want het zwaartepunt van den toestel valt zamen met het hangpunt; doch zoodra men aan het ondereinde van den staaf een klein overwigt aanbrengt, wordt het geheel tot een slinger. De schommelingen van dezen slinger zijn echter veel trager, dan van eenen enkelvoudigen slinger ter lengte van $a\ b$, want de zwaarte van het overwigt is de eenige kracht, welke den geheelen toestel in beweging brengt, en deze moet niet alleen hare eigene massa in beweging brengen, zoo als bij eenen enkelvoudigen slinger het geval zou geweest zijn, maar zij moet ook nog de massa's van de schijven bij c en d bewegen.

Fig. 145.

Hieruit laat zich verklaren, waarom eene balans, die men eveneens als eenen slinger kan beschouwen, zoo langzaam schommelt, niettegenstaande haar zwaartepunt zich digt beneden het hangpunt bevindt, en zij derhalve zeer snel zou moeten schommelen, wanneer het zwaartepunt werkelijk het slingerpunt ware.

80 **Het slinger-uurwerk.** De belangrijkste toepassing, die men van den slinger gemaakt heeft, is de regeling der uurwerken. In elk uurwerk moet eene versnellende kracht werken, om de beweging voort te brengen en te onderhouden. Nu is het echter uit datgene, wat over de versnellende kracht gezegd is, duidelijk, dat, wanneer de versnellende kracht niet door eene andere gelijke kracht of door eenigen hinderpaal van de beweging wordt tegengewerkt, de beweging niet gelijkmatig kan blijven, maar dat zij, even als bij den val der ligchamen steeds in snelheid zal toenemen. Bij onze hangklokken wordt de versnellende kracht te weeg gebragt door gewigten, welke aan een, over eene horizontale as geslagen, koord hangen. Wanneer het gewigt door zijne zwaarte naar beneden getrokken wordt, dan wordt door het koord de as omgedraaid en daardoor het geheele uurwerk in beweging gebragt. Het gewigt heeft echter bij zijnen val eene versnelde beweging, en bijgevolg zoude het uurwerk, in den beginne langzaam en vervolgens steeds sneller en sneller moeten gaan, wanneer deze gang niet geregeld werd, en deze regeling nu wordt door middel van *den slinger* bewerkstelligd.

Op welke wijze de slinger den gang van een uurwerk regelt, is in Fig. 146 voorgesteld. Aan de as, rondom


Fig. 146.

welke het koord met het gewigt is aangebragt, is een getand rad bevestigd. De as, om welke de slinger zijne schommelingen volbrengt, bevindt zich boven dit rad, en aan deze slinger-as is een anker *a b* bevestigd, hetwelk, naarmate van den stand des slingers, aan de eene of de andere zijde in de tanden van het rad grijpt. De afbeelding stelt den slinger juist in dien stand voor, waarin hij zich zooveel mogelijk naar de linker zijde begeven heeft. Het rad, hetwelk door het gewigt in de rigting van den pijl gedraaid wordt, kan niet voortgaan, omdat de tand 1 door den tand *b* van het anker terug gehouden wordt; maar zoodra de slinger terug gaat, gaat *b* omhoog, en de tand 1 wordt nu voorbij gelaten; hoewel de beweging van het rad toch spoedig wederom belemmerd wordt, dewijl nu aan de andere zijde de tand *a* van het anker naar beneden daalt, en de tand 2 van het rad daartegen stoot; derhalve kan het rad bij elken heengang en bij elken teruggang telkens 1 tand voortgaan, en dus wordt ...weging van het rad door de schommelingen van den ... geregeld.

...akuurwerken is het gewigt door eene gespannen stalen ...vervangen, en de slinger door de onrust, d. i. eene ...veer, die ten gevolge van hare veerkracht om haren evenwigtstand slingert.

...werken, die te *Parijs* vervaardigd waren en daar volkomen ...ld gingen, bleven, in de nabijheid van den aequator ...gt, een weinig ten achter, en men moest derzelver slingers ...rten. Daaruit blijkt, dat dezelfde slinger aan de even...lijn zich langzamer beweegt, dan in de nabijheid der polen, derhalve aan den aequator de werking der zwaarte ge-

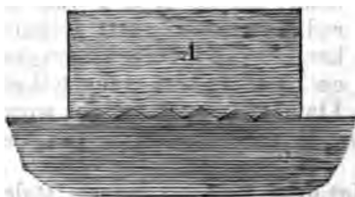
ringer is dan aan de polen. Hiervoor bestaan twee oorzaken: ten eerste de afplatting der aarde, en ten tweede de middelpuntsvliedende kracht, teweeg gebragt door de omdraaijing der aarde om hare as, en die aan den aequator het sterkste is.

81 **Wrijving.** Een reeds meermalen genoemde wederstand, die bijna op alle bewegingen eenen aanmerkelijken invloed uitoefent, is de *wrijving*. Om eenen slechts weinig zwaren last op eene horizontale vlakte voort te slepen, is er eene aanmerkelijke krachts-inspanning noodig, die enkel en alleen van den weêrstand der wrijving afhankelijk is. Indien zoo wel het vlak, waarop de last moet worden voortgesleept, als ook de beneden-vlakte van den last zelven volkomen hard en glad waren (hetgeen in de natuur nimmer het geval is), dan zou de grootste last door de kleinste kracht in beweging gebragt kunnen worden, en eenmaal in beweging gebragt, zoude de last zich met gelijkmatige snelheid op het horizontale vlak voortbewegen.

De wrijving is ontegenzeggelijk daarvan afhankelijk, dat de verhevenheden van elke der over elkander heenglijdende oppervlakten, in de verdiepingen der andere grijpen. Wanneer er nu beweging zal plaats vinden, moeten of de uitstekende deeltjes van de massa huns ligchaams worden afgescheurd, of het ligchaam moet onophoudelijk over de onevenheden van het andere geligt worden. Het eerste gebeurt, wanneer de wrijvende oppervlakten, of ten minste eene derzelve, zeer ruw zijn. Doch wanneer ook al de wrijvende oppervlakten zoo glad mogelijk gemaakt zijn, gebeurt bijna uitsluitend het laatstgemelde.

De nevenstaande Fig. 147 moge dienen, om voor te stellen, op welke wijze de weêrstand van de beweging ontstaat, wanneer een ligchaam over kleine onevenheden moet bewogen worden. Het opbeuren van het ligchaam *A* geschiedt, doordien de laagste punten der uitsteeksels van *A* op den top der onevenheden van de ondergelegene oppervlakte getrokken worden, van waar zij al spoedig weder naar omlaag glijden, hetgeen door dezelfde rijzing en daling weder wordt opgevolgd. De weêrstand, welke hier aan de beweging van *A* wordt overgesteld, is derhalve geen andere dan die, welke zou moeten worden overwonnen, om het ligchaam op een absoluut glad hellend vlak omhoog te trekken.

Fig. 147.



Indien deze meening omtrent de wrijving juist is, dan moeten de wetten, daaruit afgeleid, door proefneming bevestiging erlangen.

Ten einde de wrijving te overwinnen, moet men, even als wanneer men het ligchaam langs een hellend vlak wil optrekken,

eene kracht aanwenden, welke aan een zeker gedeelte van den last gelijk is. Het getal, waardoor men deze verhouding van kracht en last uitdrukt, noemt men *wryvings-coëfficiënt.* Deze is natuurlijk afhankelijk van de eigenaardige gesteldheid der wrijvende vlakten, en kan slechts door proefneming bepaald worden. Zoo men op eene horizontale onderlaag van ijzer, b. v. op eenen ijzerbaan, eenen last van 1 centenaar wilde voortslepen, dan zou er, wanneer de onderste vlakte van de slede eveneens uit ijzer bestaat, eene kracht van 27,7 ponden noodig zijn, d. i. dezelfde krachts-inspanning, als of men 27,7 ponden loodregt omhoog wilde beuren. Wanneer ijzer op ijzer wrijft, bedraagt de wederstand van de wrijving 27,7 proc., de wrijvings-coëfficiënt is derhalve in dit geval 0,277. Ten einde voor verschillende ligchamen den wrijvings-coëfficiënt te vinden, kan men zich bedienen van eenen toestel als in Fig. 11. De plank R. S. worde in eenen horizontalen stand gebragt. Gesteld, deze plank zij van eikenhout; men legge op dezelve een eikenhouten blok, welks onderste vlakte eveneens goed glad gemaakt moet zijn, en dat 1000 wigtjes weegt; aan dit blok is een touw bevestigd, hetwelk, even als bij de proeven omtrent het hellende vlak, over eene katrol geslagen is en eene ligte schaal draagt. Het gewigt van de schaal zal geene beweging vermogen te weeg te brengen; men moet gewigten op dezelve leggen, en eerst, wanneer het gezamenlijke gewigt van de schaal en de gewigten 418 wigtjes bedraagt, zal de beweging beginnen. Uit deze kracht blijkt, dat de wrijvings-coëfficiënt van eikenhout op eikenhout 0,418 is.

Wanneer men zoowel de zelfstandigheid van het in beweging te brengen ligchaam, als het ondergelegene ligchaam verandert, dan kan men de wrijvings-coëfficiënten voor onderscheidene ligchamen vinden. De onderstaande tabel bevat eenige der in de praktijk meest belangrijke wrijvings-coëfficiënten:

IJzer op ijzer	0,277	
IJzer op messing	0,263	
IJzer op koper	0,170	
Eiken- op eikenhout	0,418	=
	0,273	+
Eiken- op dennenhout	0,667	
Dennen- op dennenhout	0,562	

Door een doelmatig gebruik van smeer, kan de wrijving nog verminderd worden. Voor metalen is olie, voor hout daarentegen vet het beste smeermiddel.

Bij houtsoorten is het niet onverschillig, hoe de vezelen loopen; de wrijving is namelijk bij door elkander gekruiste (+) vezelen veel minder dan bij evenwijdig loopende vezelen (=).

Uit het tot hiertoe gezegde volgt onmiddelijk, dat de wrijving steeds evenredig is aan den last. Indien men bij de boven

beschrevene proef een eiken blok van 2000 wigtjes had gebezigd, dan had men 836 wigtjes aan het touw moeten hangen, om de wrijving te overwinnen.

De grootte der wrijvende vlakten kan volgens de voorgedragene meeningen geenen invloed uitoefenen op de grootte der wrijving. Ook dit kan men door proefneming bevestigen. Gesteld, het eikenblok had zijvlakten van verschillende grootte, dan zal men geen verschil in het resultaat zien, met welke vlakte men het blok ook op de plank plaatst.

De boven voorgedragene soort van wrijving wordt met den naam van *slepende wrijving* bestempeld, om haar te onderscheiden van de *rollende wrijving*, die wij zoo dadelijk nader zullen bespreken. Slepende wrijving vindt onder anderen ook daar plaats, waar tappen in hare pannen gedraaid worden; ten einde in dit geval het uitwerksel van de wrijving des te gemakkelijker te kunnen berekenen, behoeft men slechts te bedenken, dat zij even zoo werkt als een overeenkomstig gewigt, dat aan een touw, om deze zelfde as geslagen, hing. Onderzoeken wij b. v. het uitwerksel der wrijving aan het reeds meermalen beschouwde windas. Het gewigt van de spil, met alles wat daaraan bevestigd is mede gerekend, bedrage 75 pond, de steen, die omhoog geligt moet worden, wege 100 pond, en dus is de kracht, die aan den omtrek van het rad werkt, 25 pond, dan is de som van de drukking, welke de tap-pannen te dragen hebben $75 \times 100 + 25 = 200$ pond. Wanneer de messen van geel koper, en de tappen van ijzer vervaardigd zijn, dan bedraagt de wrijving, die aan den omtrek der tappen werkt, 26,3 proc., en het uitwerksel der wrijving is dus hetzelfde, als of men in hare plaats om de tappen een touw geslagen had, in dezelfde rigting als dat touw, dat den last draagt, en aan dit touw een gewigt $200 \times 0{,}263$ of 52,6 pond gehangen had; of als of de aan den omtrek van de spil werkende last $\frac{52{,}6}{5}$ of 10,5 pond grooter geweest ware, ondersteld namelijk, dat de doorsnede der tappen $\frac{1}{5}$ van den doormeter van de spil zij. Er wordt derhalve bij dit windas ongeveer 10 proc. der aangewende kracht voor het overwinnen van de wrijving gebezigd.

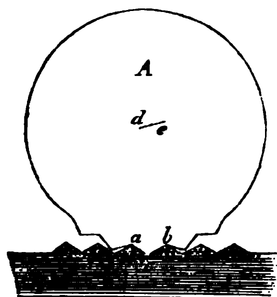
Fig. 148.



Ons blijft nu nog de rollende wrijving te beschouwen. *Rollende wrijving* vindt daar plaats, waar een ligchaam, b. v. een kogel of een cilinder, over zijn steunsel rolt. Daarbij komt het steunsel steeds met nieuwe punten van het rollende ligchaam in aanraking. De hierbij ontstaande wêerstand is verreweg geringer, dan de weêrstand der slepende wrijving, gelijk uit de

navolgende beschouwing blijkt: Indien het ronde ligchaam *A* over zijn steunsel zou voortgesleept worden, dan zou men vooreerst daarmede moeten beginnen, om het tegen het kleine hellende vlak *c b* omhoog te trekken, zijn zwaartepunt zou daarbij zooveel hooger rijzen, als *c* lager dan *b* ligt. Indien echter het ligchaam *A* voort rolt, zal het zich om het punt *b* draaijen, waarbij zijn zwaartepunt slechts van *d* tot *e* verplaatst wordt. Het verschil in hoogte tusschen *d* en *e* is echter veel geringer dan het verschil van *c* en *b*. Denken wij ons om het middelpunt *d* eenen cirkelboog, door de punten *a* en *b* getrokken, dan zal het laagste punt van dezen boog even ver beneden *b* liggen, als *d* beneden *e*. Doch daar het laagste punt van den boog *a b* nog altijd hoog boven *c* ligt, begrijpt men ligt, dat bij de rollende wrijving de afwisselende rijzing en daling van het zwaartepunt veel geringer is, dan bij de slepende. Men ziet echter tevens, dat hier de wederstand wezenlijk van den doormeter des rollenden ligchaams afhankelijk is. Hoe grooter deze doormeter is, des te geringer is de wederstand. Voor het overige is ook hier de wederstand evenredig aan den last.

Fig. 149.



Bij het wiel van eenen wagen vindt er rollende wrijving plaats aan den omtrek van het rad, en slepende wrijving daarentegen aan de as. Beide weêrstanden worden des te geringer, hoe grooter de doormeter der wielen is. Bij de slepende wrijving zoowel als bij de rollende, oefent overigens ook nog de adhaesie eenen aanmerkelijken invloed uit.

Bij een locomotief worden de middelste wielen, de drijfwielen, door de kracht van het stoomwerktuig rondgedraaid; tengevolge daarvan rolt de geheele wagen voort, want zoo hij staan bleef, zouden de raderen niet kunnen ronddraaijen, zonder dat er tusschen de raderen en de rails eene belangrijke slepende wrijving ontstond, terwijl bij het voortrollen enkel de veel geringere rollende wrijving overwonnen wordt.

Indien er aan een locomotief eene rij van wagens wordt vastgemaakt, dan moet er, bij de beweging van elken derzelve, een zekere weêrstand van wrijving overwonnen worden, rollende wrijving aan den omvang, slepende aan de assen van de wielen. Al deze weêrstanden moeten overwonnen worden, zoo de wagen zal worden voortgetrokken. Het is duidelijk, dat men het getal van wagens, aan het locomotief, ten laatste zoodanig zou kunnen vermeerderen, dat het zich niet meer zou kunnen voortbewegen; in dit geval zouden derhalve de wielen van het locomotief ronddraaijen, zonder beweging van het laatste, waarbij dus door de kracht van het stoomwerktuig de belangrijke weder-

stand der slepende wrijving aan den omvang van de drijfwielen zou moeten overwonnen worden; de trein kan, zoo als men begrijpt, zich dan slechts voortbewegen, wanneer de som van alle wrijvingen aan al de wagens te zamen, kleiner is dan de weêrstand der slepende wrijving, die door het omdraaijen van de drijfwielen van het locomotief aan deszelfs omtrek zou ontstaan, zoo het locomotief zich niet bewoog.

Uit deze beschouwing volgt ook, dat de last, welken een locomotief vermag voort te bewegen, niet alleen afhankelijk is van de kracht van zijn stoomwerktuig, maar ook van zijn gewigt. Nemen wij aan, dat twee locomotieven even sterke stoomwerktuigen hadden, doch dat het een zwaarder ware dan het andere, dan zal men met het zwaardere toch eenen grooteren last kunnen voorttrekken.



TWEEDE HOOFDSTUK.

Wetten van de beweging der vloeistoffen.

82 Wanneer men eene opening maakt in den zijwand of in den bodem van een met vloeistoffen gevuld vat, dat van boven eene opening heeft, die klein is in vergelijking van de afmetingen van het vat, dan stroomt de vloeistof uit het vat met eene snelheid, die des te grooter is, naarmate de opening zich lager beneden de oppervlakte van de vloeistof bevindt. Den zamenhang tusschen de snelheid van het uitvloeijen en de hoogte der drukking, kan men het eenvoudigst op de navolgende wijze uitdrukken: *De snelheid van uitvloeijing is even groot als de snelheid, die een vrij vallend ligchaam zou verkrijgen, wanneer het van de hoogte van de oppervlakte der vloeistof tot aan de uitvloeijings-opening omlaag viel.*

Deze stelling is bekend onder den naam van het theorema van TORRICELLI. Men kan haar op de volgende wijze afleiden.

Wanneer de vochtlaag $a\ b\ c\ d$, Fig. 150, die zich onmiddellijk boven de opening $a\ b$ bevindt, vrij omlaag viel, zonder versnelling te erlangen van de op haar drukkende vloeistof, dan zoude zij de opening verlaten met eene snelheid, die aan de hoogte $a\ c$ beantwoordt, welke hoogte wij door h willen aanduiden. Deze snelheid is $c = \sqrt{2\ g\ h}$ (zie bladz. 114). Nu evenwel krijgt de uitstroomende laag niet alleen eene versnelling ten gevolge van hare eigene zwaarte, maar ook door de zwaarte der geheele op haar drukkende vloeistof. De versnellende kracht der

Fig. 150.



zwaarte g verhoudt zich bijgevolg tot de versnellende kracht g', door welke de vochtdeeltjes werkelijk uitgedreven worden, als $a\,c$ tot $a\,f$ of als h tot s, wanneer men door s de hoogte der drukking verstaat, d. i.

$$h : s = g : g',$$

en derhalve is de versnellende kracht, welke op de uitvloeijende laag werkt, $g' = \frac{g}{h} s$. Wanneer echter de versnellende kracht, die op de uitvloeijende laag werkt, niet g, maar g' is, dan is ook de snelheid van uitvloeijing $c' = \sqrt{2\,g'\,h}$; en wanneer wij voor de waardij van c' de boven afgeleide waardij van g' stellen, dan krijgen wij voor de snelheid van uitvloeijing de formule

$$c' = \sqrt{2\,g\,s}.$$

Dit nu is dezelfde snelheid, die een ligchaam erlangt, wanneer het vrij valt van de hoogte s.

Uit deze stelling volgt onmiddellijk:

1. *De snelheid van uitvloeijing is enkel afhankelijk van de diepte der opening beneden de oppervlakte des vochts, maar niet van den aard der vloeistof.* Bij gelijke hoogten van drukking, moeten derhalve het water en het kwikzilver even spoedig uitvloeijen. Iedere laag kwikzilver wordt wel is waar naar buiten gedreven door eene drukking, welke 13,6 maal grooter is dan bij het water, maar daarentegen is ook de massa van een deeltje kwikzilver, dat uitstroomt, 13,6 maal grooter dan die van een water deeltje van dezelfde grootte.

2. *De snelheden van uitvloeijing verhouden zich als de vierkantswortels der hoogten van drukking.* Uit eene opening, die 100 duim beneden het niveau des waters ligt, moet derhalve het water met 10 maal grootere snelheid uitvloeijen, dan uit eene andere, welke slechts een duim beneden het niveau gelegen is.

Fig. 151.

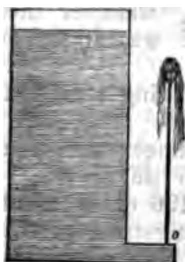
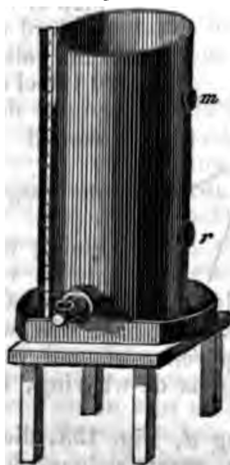


Fig. 152.



Ten einde door eene proeve de snelheid van het uitvloeijen te bepalen, is het eenvoudigste, om eenen loodregten straal, of eenen in horizontale rigting uit eenig vat stroomenden straal waar te nemen. Wij willen vooreerst den omhooggaanden straal beschouwen. 83

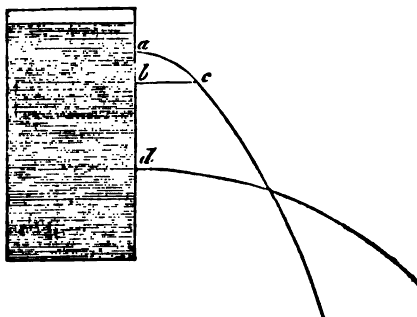
Wanneer het water uit de opening o, Fig. 151,

met de zelfde snelheid naar buiten treedt, als of het van het niveau des waters in het vat tot aan de opening *o* naar beneden gevallen ware, dan moet de waterstraal ook weder ter hoogte van het waterpas rijzen. Men kan deze proeve zeer ligt bewerkstelligen, door middel van den toestel in Fig. 152, wanneer men het water uit de opening *c* laat vloeijen; doch men zal daarbij bevinden, dat de opstijgende waterstraal op verre na niet die hoogte bereikt, die men zou hebben verwacht.

Dat de waterstraal niet de theoretisch berekende hoogte bereikt, daarvan ligt enkel de schuld aan de hindernissen der beweging; den meest wezenlijken invloed oefent het van den top weder naar beneden vallende water uit, doordien daardoor het vrije opstijgen der opvolgende hoeveelheid waters verhinderd wordt; daarom stijgt ook de straal oogenblikkelijk hooger, zoodra men de uitstroomings-opening zoodanig rigt, dat de uitvloeijende straal eenen zeer kleinen hoek met den loodregten maakt, dat derhalve het water naast den opstijgenden straal omlaag valt. In dit geval kan, onder gunstige omstandigheden, d. i. wanneer er zoo weinig wrijving mogelijk plaats grijpt, de straal eene hoogte bereiken, die 0,9 van de hoogte van drukking is.

Een waterstraal, die in horizontale rigting uitvloeit, beschrijft eene parabool, wier vorm afhankelijk is van de snelheid van uitvloeijing. Gesteld, de opening *a*, Fig. 153, bevinde zich 0,1 el beneden het niveau des waters, dan is, volgens de wet van TORRICELLI, de snelheid van uitvloeijing $\sqrt{2.9, 8.0, 1} = 1, 4$ el. Wanneer derhalve een waterdeeltje op eenig oogenblik de opening verlaat, dan zal het na verloop van eene seconde 1,4 el van den loodregten wand van het vat, in $\frac{2}{10}$ seconden, derhalve reeds 0,28 el van denzelven verwijderd zijn. In 0,2 seconden valt het water echter 0,196 el naar beneden (men vindt dit, wanneer men door 1 de waardij 0,2 in de vergelijking $s = \frac{g}{2} t^2$ stelt); wanneer men derhalve van de opening *a* loodregt naar beneden de lengte *a b* = 0,196 el af meet, dan moet eene uit *b* horizontaal naar den waterstraal getrokkene lijn *b c* denzelven op eenen afstand van 0,28 el snijden. Bij de proef zal men, wegens de wrijving, *b c* eenigzins kleiner vinden dan 0,28 el.

Fig. 153.



Uit eene tweede opening *d*, Fig. 153, die 40 duim beneden het niveau des waters ligt, moet, volgens de theorie, de straal

uitvloeijen met eene snelheid, die dubbel zoo groot is als de snelheid van uitstrooming bij *a;* wanneer men derhalve uit *d* 196 streep naar beneden meet, en dan eene horizontale lijn naar den straal getrokken denkt, dan moet deze hem op eenen afstand van 0,56 el raken.

De hoeveelheid waters, die in eenen gegevenen tijd uit eene 84
opening vloeit, is natuurlijk afhankelijk van de grootte der opening en de snelheid van uitvloeijing. Wanneer alle waterdeeltjes de opening verlieten met die snelheid, welke, volgens het theorema van TORRICELLI, aan de hoogte der drukking beantwoordt, dan zou de in eene seconde uitvloeijende hoeveelheid waters eenen cilinder daarstellen, welks basis gelijk aan de opening en wiens hoogte gelijk aan den weg ware, dien een waterdeeltje, tengevolge zijner snelheid, in eene seconde aflegt. Deze weg is echter de snelheid van uitvloeijing zelve, derhalve $\sqrt{2 g s}$, en wanneer wij dus den vlakte-inhoud der opening door f aanduiden, dan is de hoeveelheid die in eene seconde uitvloeit

$$m = f. \sqrt{2 g s}.$$

Stellen wij, dat de openingen, die bij m en r, Fig. 152, aangeschroefd zijn geworden, cirkelvormig waren; de doormeter van den cirkel zij 5 streep, dan is de vlakte-inhoud van de opening $f = 19{,}625$ vierkante streep, of 0,19625 vierkante duim; wanneer de hoogte van drukking 10 duim is, gelijk wij reeds berekend hebben, de snelheid van uitvloeijing 1,4 el = 140 duim, derhalve

$$m = 0{,}19625 \times 140 = 27{,}475 \text{ kubieke duimen.}$$

In eene minuut zouden derhalve 1648,5 kubieke duimen meer dan $1\frac{1}{2}$ kan uitvloeijen.

Eene even groote opening, die 40 duim beneden den waterspiegel ligt, zou in eene minuut eens zoo veel, derhalve 3 kan en 297 kubieke duimen water geven. Indien men de proef in het werk stelt, dan vindt men, dat de bovenste opening slechts ongeveer 1 kan en 55 kubieke duimen, de onderste slechts 2 kan en 110 kubieke duimen geeft.

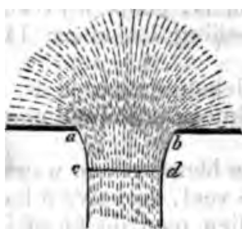
Dit verschil tusschen de theoretische en de gevondene uitvloeijings-hoeveelheden, bewijst onwederlegbaar, dat meest al de waterdeeltjes de opening verlaten met die snelheid, welke aan de hoogte der drukking beantwoordt. Inderdaad hebben in de dwarsche doorsnede der opening slechts die waterdeeltjes, die zich in het midden bevinden, deze snelheid, terwijl die snelheid geringer is voor de deeltjes, welke meer in de nabijheid van den rand der opening uitvloeijen, gelijk zulks ook noodwendig uit de onderstaande beschouwing moet volgen. In een wijd vat met naauwe opening, kan men de geheele vloeibare massa, met uitzondering van de deelen, die zich in de nabijheid der opening bevinden, als in rust beschouwen. De na elkander uitstroomende lagen beginnen derhalve hare beweging niet te gelijker tijd, de voorsten hebben bereids het maximum der snel-

heid bereikt, wanneer de achtersten eerst hare beweging beginnen. Dit zoude eene scheiding der op elkander volgende lagen ten gevolge hebben, indien er zich ledige ruimten konden vormen. Doch dewijl dit onmogelijk is, nemen de afzonderlijke lagen eene meer langwerpige gedaante aan, terwijl haar diameter vermindert; in dezelfde mate als de dwarsche doorsnede dezer lagen afneemt, zouden ook andere waterdeeltjes van ter zijde moeten toevloeijen; maar dewijl deze hunne beweging, regthoekig tegen de opening gerigt, eerst later beginnen, is het duidelijk, dat zij in de opening zelve met eene geringere snelheid aankomen, dan de in het midden gelegene waterdeelen.

Terwijl dus het binnenste van den uitvloeijenden straal in het oogenblik, waarin hij de opening verlaat, eene aan de hoogte der drukking beantwoordende snelheid heeft, is hij omgeven door waterdeelen, wier snelheid des te geringer is, hoe nader zij bij den rand der opening zijn; daaruit volgt dan, dat de hoeveelheid welke uitvloeit, geringer moet zijn, dan wanneer alle deeltjes de opening verlieten met de snelheid van het midden des straals.

Doordien dus de binnenste waterdeelen bij hunnen doorgang door de opening eene grootere snelheid hebben dan de buitenste, en de laatste tevens nog met eene naar het midden des waterstraals gerigte snelheid bedeeld zijn, is ook de uitvloeijende waterstraal niet volkomen cilindrisch, maar hij trekt zich voor de opening te zamen, zoo als zulks in Fig. 154 is voorgesteld. Bij *c d* bedraagt de doorsnede van den waterstraal ongeveer nog $\frac{2}{3}$ van den vlakte-inhoud der opening. Eveneens bedraagt de werkelijke uitstroomings-hoeveelheid ongeveer $\frac{5}{8}$ van de theoretische.

Fig. 154.



85 **Invloed van de buizen op de hoeveelheid van het uitstroomende vocht.** Wanneer het vocht niet uitvloeit door openingen, die in eenen dunnen wand gemaakt zijn, maar door korte buizen, dan ontstaan er belangrijke wijzigingen, die wij thans nader zullen beschouwen.

Indien de buis naauwkeurig den vorm bezit van den vrijen straal, van de plaats der opening tot daar waar de straal zich het sterkst zamentrekt, en ook juist zoo lang is, als de lengte van de opening tot aan die plaats bedraagt, dan oefent zij volstrekt geenen invloed uit op de hoeveelheid van het uitvloeijende vocht.

Door cilindrische buizen gaat de straal òf vrij heen, even als door eene opening van gelijken diameter, en in dit geval oefent de buis geenen invloed uit, òf het water blijft aan de wanden der buis hangen, zoodat het vocht de geheele buis vult, en er een straal uitvloeit van den diameter der buis;

in het laatste geval brengt de buis eene vermeerdering te weeg in de hoeveelheid des uitstroomenden vochts. Terwijl eene opening in eenen dunnen wand 0,64 der, volgens theoretische gronden berekende, uitstroomings-hoeveelheid geeft, krijgt men door eene cilindrische buis van gelijken diameter 84 procent, ten minste, indien de lengte der buis het viervoudige van haren diameter bedraagt. Bij geringe hoogte van drukking, hangt de straal altijd aan de wanden, bij groote hoogte van drukking daarentegen is hij vrij. Bij gemiddelde drukking is dezelve nu eens vrij, dan eens aan de wanden hangende; door eene kleine belemmering kan het aankleven te weeg gebragt worden, en dikwijls is een zeer zwakke stoot voldoende, om den straal weder vrij te maken.

Eene kegelvormige uitlozingsbuis werkt, in gevalle zij tijdens het uitstroomen vol is, even als eene cilindrische; doch zij brengt nog grootere vermeerdering der uitstroomende hoeveelheid te weeg.

De snelheid van uitstrooming wordt door cilindrische en kegelvormige uitlozingsbuizen in dezelfde verhouding verminderd, in welke de uitstroomings-hoeveelheid vermeerderd wordt.

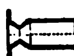
Er blijft nu nog te onderzoeken, hoe het komt, dat de uitstroomende hoeveelheden, door de uitlozings-buizen, op de boven vermelde wijze worden vermeerderd, en de snelheid der uitstrooming daarentegen verminderd wordt.

Terwijl het water in de uitlozingsbuis vloeit, ondergaat het eene zamentrekking, even als of het uit de opening van eenen dunnen wand stroomde; doch later, wanneer eenmaal de wanden der buis bevochtigd zijn, brengt de adhaesie aan de wanden der buis te weeg, dat de uitlozingsbuis volkomen gevuld wordt, en dien ten gevolge is de dwarsche doorsnede van den straal door de uitlozingsbuis vergroot: hij is bij het uitstroomen uit de buis grooter, dan ter plaatse van de zamentrekking, zoo als men zulks in Fig. 155 ziet. Dat eene zoodanige zamentrekking in de buis inderdaad moet plaats grijpen, blijkt daaruit, dat, wanneer men aan de uitlozingsbuis den vorm van den zamengetrokkenen straal geeft, zoo als in Fig. 156, de uitstrooming geheel en al zoodanig plaats grijpt, alsof de uitlozingsbuis volkomen cilindrisch ware.

Fig. 155.



Fig. 156.



Wanneer nu de waterdeeltjes, die de geheele dwarsche doorsnede der buis vullen, deze verlieten met die snelheid, waarmede zij langs de plaats van de grootste contractie heengaan, dan zou er noodzakelijk eene vanéénwijking der op elkander volgende vochtlagen te weeg gebragt worden. De scheiding der waterdeeltjes, derhalve de vorming van ledige ruimten, wordt evenwel verhinderd door de drukking der lucht, welke het instroomen der waterdeeltjes in de buis versnelt, doch daarentegen ook het uitstroomen uit dezelve vertraagt. Door de druk-

king der lucht worden de uitstroomende waterdeeltjes zooveel teruggehouden, dat er daardoor eene volkomene uitstrooming mogelijk wordt.

Dat de drukking der lucht inderdaad deze rol speelt, blijkt vooral daaruit, dat, wanneer het water in het luchtledige uitstroomt, de uitstroomende hoeveelheid door de uitlozingsbuis niet vermeerderd wordt.

Indien men in den zijwand van de uitlozingsbuis een gat boort, dan wordt er door deze opening lucht ingezogen, en de straal houdt op onafgebroken te zijn.

Zoo er in deze zijdelingsche opening eene gebogene buis *x y*, Fig. 155, gestoken wordt, waarvan het onderste einde in een vat met water uitloopt, dan wordt, ten gevolge van het streven des waters, om in de uitlozingsbuis eene luchtledige ruimte te vormen, het water in de buis *x y* omhoog getrokken. Dit verschijnsel der zuiging bewijst eveneens den invloed van de drukking der lucht op de zoo even vermelde verschijnselen. Dewijl eene kegelvormige uitlozingsbuis eene nog grootere uitstroomings-hoeveelheid geeft dan eene cilindrische, moet zij ook eene sterkere zuiging bewerken, d. i. dat in de buis *x y*, onder overigens gelijke omstandigheden, door eene kegelvormige uitlozingsbuis de waterkolom tot eene grootere hoogte wordt opgevoerd, dan door eene cilindrische.

84 **Zijdelingsche drukking van in beweging gebragte vochten.** Wanneer het water uit eenen vergaderbak door buizen wegstroomt, zouden de zijwanden in het geheel geene drukking ondergaan, zoo niet de wederstand van de wrijving moest overwonnen worden, welke wederstand, onder daartoe gunstige omstandigheden, zeer vermogend werkzaam kan zijn, zoodat het grootste gedeelte der hydrostatische drukking verloren gaat bij het overwinnen van dezen weêrstand, en niets tot de beweging bijdraagt.

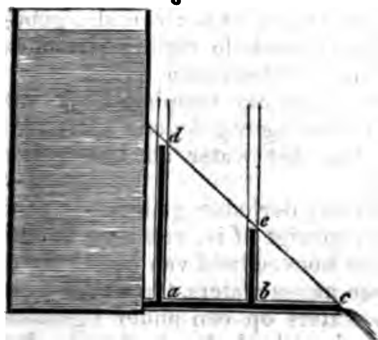
Men schroeve, in de plaats van de plaat met de opening *c*, Fig. 153, een kurk aan den toestel, waarin eene ten naastenbij drie voet lange buis staat, en geve aan de buis eenen horizontalen stand; dan zal het water aan het einde van de buis veel langzamer uitstroomen, dan wanneer de uitstrooming door de opening *c* had plaats gegrepen.

Indien men onderscheidene even lange buizen, van verschillenden diameter, tot deze proef bezigt, dan ziet men, dat de snelheid van uitstrooming vermindert, naarmate de buizen naauwer zijn.

Gesteld, men hebbe gevonden, dat de snelheid van uitstrooming voor eene van deze buizen slechts half zoo groot zij, als men ingevolge de grootte der hoogte van drukking zou hebben verwacht, dan wordt de helft van de geheele drukking vereischt om de wrijving te overwinnen, en alleen de andere helft dient voor de beweging.

Wanneer in de buis *a c*, Fig. 157, het water zich bewoog met die snelheid, welke aan de hoogte der drukking in den

Fig. 157.

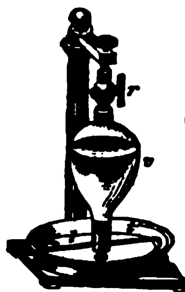


vergaderbak beantwoordt, dan zouden de wanden der buis, zoo als reeds is aangemerkt, in het geheel geene drukking ondergaan; doch wanneer het water in den vergaderbak eene beweging in de buis voortbrengt, die slechts aan een gedeelte der hoogte van drukking beantwoordt, dan moet het overige als hydrostatische drukking op de wanden der buis werken. De drukking, die op de wanden uitgeoefend wordt, is evenwel niet op alle plaatsen van de buis gelijk: zij is des te geringer, hoe nader men bij de opening *c* komt.

In vele gevallen kan de drukking, welke de wanden van de buis van binnen moeten wederstaan, kleiner zijn dan de drukking der lucht, die van buiten op dezelve werkt; dit is altijd het geval, wanneer de voorwaarden vervuld zijn, onder welke men het verschijnsel van zuiging opmerkt.

Terugwerking, welke door het uitstroomen der vochten te weeg ge- 85
bragt wordt. Stellen wij ons een vat voor, hetwelk met water gevuld is, dan zal daarin alles in rust blijven, omdat iedere zijdelingsche drukking door eene even sterke, doch tegenovergestelde drukking, wordt opgewogen. Zoo men echter op de eene of andere plaats den wand doorboort, zoodat het water uitstroomt, dan is de drukking op deze plaats natuurlijk weggenomen, terwijl het tegenover de opening gelegene gedeelte van den wand nog even zoo sterk gedrukt wordt, als vroeger. De drukking op dien wand van het vat, in welken zich de opening bevindt, is derhalve kleiner dan de drukking, die op den tegenoverstaanden wand werkt, en het geheele vat zal zich bijgevolg moeten bewegen in eene rigting, tegenovergesteld aan de rigting van den uitstroomenden vochtstraal, zoo deze beweging niet door wrijving of op eenige andere wijze verhinderd wordt. Men kan dit vergelijken bij het terugstooten van het geschut. De terugwerking, die bij het uitstroomen van het water werkzaam is, kan men aanschouwelijk voorstellen door eenen toestel, die bekend is onder de naam van het *waterrad van* SEGNER. Het bestaat uit een vat *v*, hetwelk om eene loodregte (Fig. 158) *as* kan ronddraaijen, en hetwelk aan zijn bovenste gedeelte voorzien is met eene kraan *r*, die men slechts behoeft te openen, om den toestel in beweging te

Fig. 158.



brengen. Inderdaad wordt aan den toestel eene snelle ronddraaijende beweging medegedeeld, door de terugwerking van de waterstralen, die, aan het uiteinde van de horizontale, gebogen uitloopende buizen *t* en *t'*, in tangentiale rigting stroomen op den door het uiteinde der buis beschrevenen cirkel.

86 **Loodregte waterraderen.** Wanneer het water onophoudelijk van eene hooger gelegene plaats naar eene lager gelegene afstroomt, kan men een zoodanig verval van het water als bewegende kracht in aanwending brengen.

Indien gedurende de tijdseenheid, derhalve gedurende eene seconde, eene massa waters, wier gewigt M is, van eene hoogte h afstroomt of valt, dan is $M\,h$ de hoeveelheid van beweging of het mechanische moment van deze massa waters. Op welke wijze men nu ook de beweging des waters op een ander ligchaam moge overbrengen, toch kan het uitwerksel nimmer het mechanische moment te boven gaan, d. i. men kan door het verval *ten hoogste* eenen last, die gelijk is aan de in de tijdseenheid afstroomende massa waters, tot dezelfde hoogte opvoeren, of eenige andere daaraan gelijke werking voortbrengen.

Wanneer b. v., van eene hoogte van 24 voeten, in elke seconde eene massa waters van 800 ponden naar beneden valt, dan is het absolute maximum des uitwerksels van dit verval 19200; d. i. er zou door dit verval, wanneer alle kracht volledig in werking kwame, zoo er niets door wrijving en andere wederstanden verloren ging, eene werking voortgebragt kunnen worden, gelijkstaande met de kracht, vereischt om eenen last van 19200 pond in eene seconde 1 voet omhoog te voeren. Indien men nu aanneemt, dat een paard, met middelmatige kracht en gemiddelde snelheid werkzaam, in eene seconde eenen last van 100 ponden 4 voet hoog kan voeren, dan zou het absolute maximum des uitwerksels van dit verval gelijk gesteld kunnen worden met 48 paarden krachten.

In het vervolg zullen wij het absolute maximum des uitwerksels van het verval door E. aanduiden.

Ten einde van het mechanische moment van eenig verval van het water nut te kunnen trekken, bedient men zich meestal van *waterraderen*, d. i. van raderen, aan wier omtrek het water door drukking of door stoot werkt.

De gewone waterraderen draaijen in een loodregt vlak om eene horizontale as. Men onderscheidt drie hoofdsoorten van verticale waterraderen, *onderslaande*, *bovenslaande* en *middenslaande.*

Bij de onderslaande raderen staan de schoepen regthoekig op den omtrek van het rad. De onderste schoepen zijn gedompeld in het water, hetwelk voortstroomt met eene snelheid, die van de hoogte van het verval afhankelijk is.

Het stroomende water brengt nu het rad in beweging, en deelt het eene snelheid mede, die naar omstandigheden grooter of kleiner zal zijn.

Zoo de stoot van het water aan het rad eene snelheid zal mededeelen, gelijk aan die, met welke het water zou stroomen zoo er in het geheel geen rad aanwezig ware, dan zou het rad aan deze beweging volstrekt geenen weêrstand mogen tegenoverstellen, het zou derhalve in het geheel niet belast moeten zijn; bijgevolg kon het in dit geval volstrekt geene mechanische werking voortbrengen, het uitwerksel ware gelijk nul.

Van den anderen kant zou men ook het rad door een tegenwigt zoo sterk kunnen belasten, dat de stoot des waters hetzelve in het geheel niet in beweging bragt, en dat het water van het verval slechts eene statische drukking uitoefende, welke evenwigt maakte met het tegenwigt. In dit geval is het uitwerksel wederom nul. — Uit deze beschouwing blijkt, dat wanneer er door het rad eenig vermogen zal worden uitgeoefend, het zich bewegen moet met eene snelheid, die geringer is dan die van het vrij stroomende water; de theorie en de ondervinding leeren, dat men de voordeeligste werking verkrijgt, wanneer de snelheid van het rad half zoo groot is als de snelheid, die aan de hoogte van het verval beantwoordt.

Daaruit blijkt, dat bij een gewoon onderslaand rad slechts de helft van het mechanische moment des vervals in werking komt, dewijl het water nog wegstroomt met de helft der snelheid, met welke het voor het rad kwam; het uitwerksel van zoodanig rad kan derhalve nimmer boven $\frac{1}{2}$ E gaan.

Doch zelfs deze werking kan men in de praktijk niet verkrijgen, omdat er steeds een gedeelte van de kracht verloren gaat door de adhaesie des waters aan de wanden van den waterloop, door wrijving, enz. Uit zorgvuldig bewerkstelligde proeven heeft men voor onderslaande raderen, die zich zoodanig in eene goot bewegen, dat er geen water van ter zijde kan wegvloeijen, de waardij gevonden

$$e = 0{,}3\ E.$$

Bij vrij hangende raderen echter, zoodanig als men ze aan watermolens aanbrengt, bij welke het water ter zijde kan wegstroomen, is het uitwerksel nog meer van het absolute maximum verwijderd.

De onderslaande raderen bezigt men in die gevallen, waar men over eene tamelijke hoeveelheid waters, doch over geringe hoogte van den val beschikken kan.

Dewijl door de boven beschouwde onderslaande raderen, bij den regthoekigen stoot des waters tegen de schoepen, zoo weinig partij getrokken wordt van het mechanische moment des vervals, is door PONCELET een onderslaand rad met kromme schoepen vervaardigd, welks effect veel meer tot het absolute maximum nadert.

Indien het water geheel en al zonder stoot op het rad zou komen, dan zouden de schoepen aan den omtrek van het rad moeten zamenvallen met de rigting der raaklijnen; doch zoo men dezelve werkelijk zoodanig wilde vervaardigen, dat

aan deze voorwaarde voldaan werd, dan zou de uitstrooming des waters uit het rad belemmerd zijn; en ook mag het water zijne snelheid toch niet geheel en al aan het rad verliezen, omdat het dan geene snelheid meer zou bezitten om weg te stroomen. Derhalve is er, ook bij het rad van PONCELET, een zeker verlies, afgezien nog van de weêrstanden, niet te vermijden.

Zoodanige raderen met kromme schoepen zullen een effect bewerken, hetwelk $\frac{2}{3}$ tot $\frac{3}{5}$ van het absolute maximum bedraagt. Het grootere uitwerksel der raderen van PONCELET kan men daaruit verklaren, dat het water, terwijl het op de kromme schoep omhoog stijgt, zijne snelheid verliest, en deze voor het grootste gedeelte aan het rad afstaat.

De bovenslaande raderen worden gebezigd bij hooger verval van kleinere watermassa's, bij kleinere van bergen afstroomende beeken. Door het water, hetwelk van boven neêr op het rad valt, worden de schoepen van het rad gevuld, en juist door dit overwigt wordt het rad rondgedraaid. Nabij het laagste gedeelte van het rad loopt het water weder uit de schoepen. Bij de bovenslaande raderen gaat er evenens een gedeelte van het mechanische moment van den val verloren, omdat het water niet in de schoepen tot aan derzelver laagsten stand kan bevat blijven, maar reeds vroeger begint uitgestort te worden. Een goed vervaardigd bovenslaand rad zal een uitwerksel te weeg brengen, dat 75 percent van het absolute maximum bedraagt, ten minste ingeval het langzaam ronddraait; want bij snelle ronddraaijing blijft het water in de schoepen, ten gevolge der centrifugale kracht, niet horizontaal, maar het begeeft zich naar den omtrek, zoodat het nog vroeger buiten de schoepen valt.

Het middenslaande rad stelt eene tusschensoort daar, tusschen de boven- en onderslaande raderen.

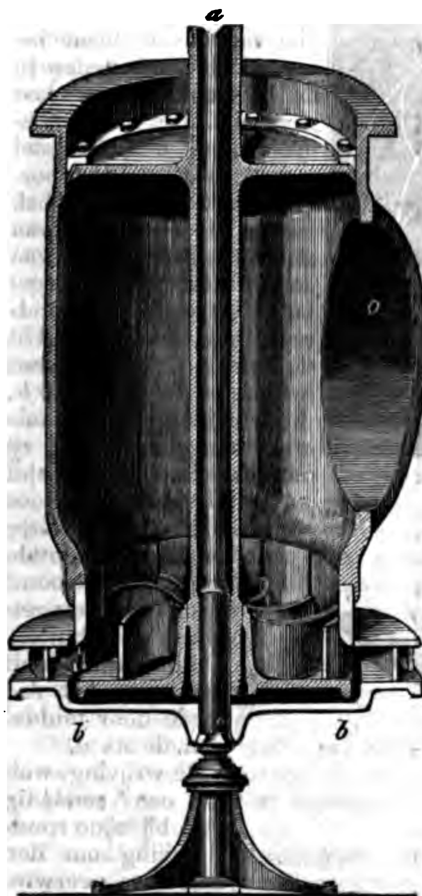
87 **Horizontale waterraderen.** Reeds vroeger had men beproefd, om horizontale waterraderen zamen te stellen, doch eerst door FOURNEYRON werden zij in gebruik gebragt. De horizontale waterraderen van FOURNEYRON zijn bekend onder den naam van *turbinos.*

In Fig. 159 wordt eene voor een hoog verval ingerigte turbine voorgesteld.

De geheele massa waters van het verval is verzameld in eene wijde buis van gegoten ijzer, uit welke het door de opening *o* in eenen vergaderbak van gegoten ijzer treedt. Door het midden van dezen vergaderbak loopt eene holle buis, door welke het bovenste deksel met den bodem wordt verbonden. Deze horizontaal liggende bodem reikt niet tot aan den loodregten wand van den bak, maar tusschen denzelven en de zijwanden is eene ringvormige tusschenruimte, door welke het water in eene horizontale rigting heenstroomt.

Door dit hier instroomende water wordt nu het horizontale rad, welks schoepen loodregt geplaatst zijn, in beweging gebragt; *a a* is de loodregte as, om welke het rad draait; zij

Fig. 159.



loopt door de buis, welke het deksel met den bodem van den vergaderbak vereenigt. Aan deze as is het bord *b b* bevestigd, hetwelk, tegenover de opening van den vergaderbak geplaatst, den radkrans met de schoepen draagt.

De schoepen zijn omgebogen, op de wijze als men in de teekening, Fig. 160, ziet; doch om te bewerken, dat het water in de meest voordeelige rigting tegen de schoepen van het rad stoot, zijn er op het blad van den vergaderbak van blik vervaardigde kromme reepen aangebragt, die aan het uitstroomende water eene bepaalde rigting geven.

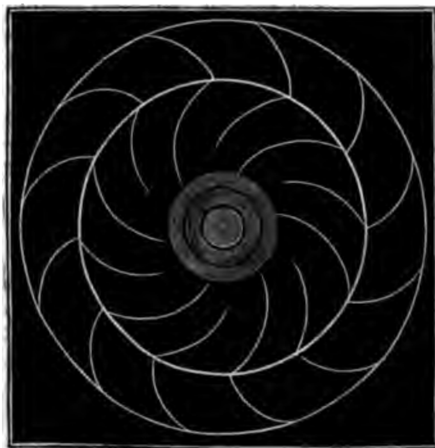
De meest voordeelige krommming van de schoepen en reepen nader te beschouwen, zou ons te ver leiden.

Door middel van goed vervaardigde turbines van FOURNEYRON, zou men een uitwerksel verkrijgen, hetwelk 75 procent van het absolute maximum bedraagt. GADIAT heeft de turbines vereenvoudigd, door het weglaten der kromme reepen, en daardoor slechts 5 procent van het absolute maximum verloren, zoodat zijne turbines nog 70 procent effect hebben.

Reeds vroeger had men beproefd, om het waterrad van SEGNER ook in het groot aan te wenden, ten einde met hetzelve werktuigen in beweging te brengen, doch zonder gevolg; men kreeg altijd slechts een zeer gering uitwerksel. De reden dat deze proeven zoo ongunstig uitvielen, was geenzins daarin gelegen, dat de hier werkzame kracht te gering was, maar in de omstandigheid, dat de onderste spil, om welke de toestel draait, het gewigt eener groote massa waters te dragen heeft, ten gevolge waarvan de te overwinnen wederstand van wrijving grooter is.

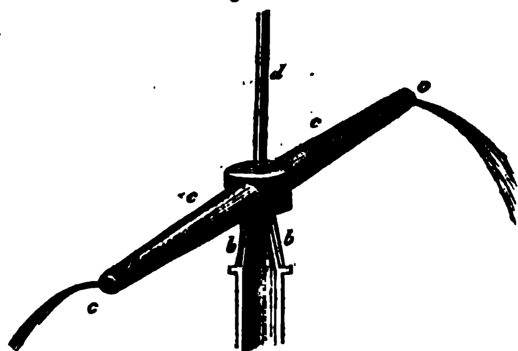
Dit nadeel is door ALTHANS te *Sayn* op eene zeer vernuftige

Fig. 160.



wijze uit den weg geruimd, doordien hij het water niet van boven, maar integendeel van beneden in de horizontale armen laat stroomen. Het hoofdzakelijkste van dezen toestel wordt in Fig. 161 voorgesteld. De vergaderbak bestaat in eene buis van gegoten ijzer, die van onder horizontaal omgebogen is, en in eene loodregte buis *a* uitloopt. Uit de opening bij *a* stroomt het water in de buis *b*, die zoodanig op de buis *a* is aangebragt, dat zij om deze als om eenen spil kan draaijen. Door *b* komt het water in de horizontale armen *c*, en stroomt door de openingen bij *o* naar buiten. De beweging deelt zich aan het rad mede door middel van de as *d*.

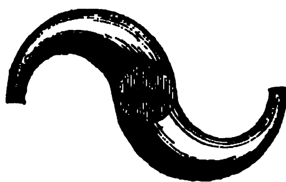
Fig. 161.



De wrijving, welke een zoodanig rad bij zijne ronddraaijing om den spil *a* te overwinnen heeft, is zeer gering; want het gewigt van het rad met alles wat daaraan bevestigd is, wordt bijna geheel gedragen door de van beneden drukkende waterkolom, zoodat er op de spil *a* bijna in het geheel geene drukking wordt uitgeoefend.

Bij den in Fig. 161 voorgestelden toestel moet er, om dezelfde reden als bij de onderslaande raderen met vlakke schoepen, een groot gedeelte van het mechanische moment des vervals verloren gaan; want indien de snelheid van het water zich geheel en al aan het rad zal mededeelen, en het rad derhalve met eene aan de hoogte van het verval geëvenredigde snelheid zal ronddraaijen, dan is de drukking tegen den ach-

Fig. 162.



terwand, derhalve ook het mechanische uitwerksel, nul; en daarom moet het water nog een gedeelte van zijne snelheid behouden. Ook hier wint men veel door eene gebogene gedaante der armen, ten naastenbij zoodanig, als in Fig. 162 is voorgesteld. Hierbij deelt het water, bij zijne strooming door de buis en drukking tegen de gebogen wanden, zijne snelheid langzamerhand aan het rad mede, zoodat het water bijna zonder snelheid uit de opening stroomt.

Zoodanige turbines zijn in *Schotland* zeer algemeen, waarom men ze ook den naam geeft van *Schotsche turbines.*

Het water-kolom werktuig. Bij dit werktuig wordt door de in 88
beweging zijnde waterkolom, het stroom-water, hetwelk op eenen, in eenen cilinder bewegelijken zuiger drukt, aan den laatsten eene op en neder gaande beweging medegedeeld, welke beweging daarna door den zuiger wordt voortgeplant.

Gewoonlijk bezigt men deze werktuigen, om het water tot eene aanmerkelijke hoogte op te voeren. Zoo wordt b. v. de zoutbron van *Reichenhall* in *Beijeren*, langs omwegen, 30 uren ver naar *Rosenheim* geleid, om daar, gelijk ook op eenige tusschen gelegene plaatsen, zoo als b. v. te *Trauenstein*, gezoden te worden. Op dezen langen weg zijn negen, door REICHENBACH zamengestelde, werktuigen geplaatst, welke het bronwater over bergen heenvoeren. Ofschoon alle zoodanige werktuigen op dezelfde gronden berusten, zijn zij toch op zeer verschillende wijzen gebouwd; eenen der eenvoudigste toestellen, namelijk dien van het waterkolom-werktuig aan de *Nesselgraben* (een der vermelde negen werktuigen), zullen wij hier nader beschouwen.

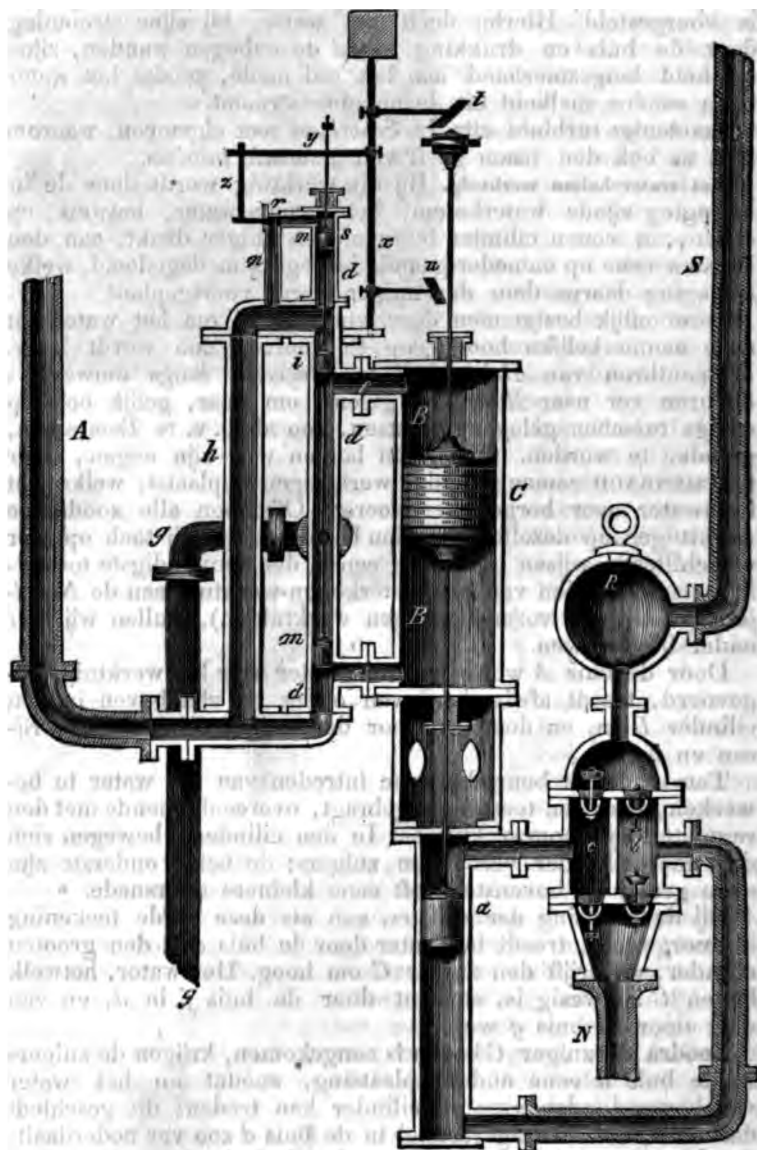
Door de buis *A* wordt het bron-water naar het werktuig toegevoerd, treedt afwisselend van onder en van boven in den cilinder *B* in, en doet daardoor den zuiger *C* beurtelings rijzen en dalen.

Ten einde dit beurtelingsche intreden van het water te bewerken, is er een toestel aangebragt, overeenkomende met den regulator bij stoomwerktuigen. In den cilinder *d* bewegen zich drie met elkander verbonden zuigers; de beide onderste zijn even groot; de bovenste heeft eene kleinere doorsnede.

Bij de plaatsing der zuigers, zoo als deze in de teekening is voorgesteld, treedt het water door de buis *e* in den grooten cilinder, en drijft den zuiger *C* om hoog. Het water, hetwelk boven *C* aanwezig is, stroomt door de buis *f* in *d*, en van daar door de buis *g* weg.

Zoodra de zuiger *C* boven is aangekomen, krijgen de zuigers in de buis *d* eene andere plaatsing, zoodat nu het water van boven in den grooten cilinder kan treden; dit geschiedt daardoor, dat de zuigertoestel in de buis *d* zoo ver nederdaalt, dat de zuiger *i* te staan komt beneden de buis *f*, en de zuiger *m* beneden *e*; het water stroomt dan uit de buis *A*, door *h* en *f* in het bovenste gedeelte van den cilinder *B*, en drukt den

Fig. 163.



zuiger *C* neder, terwijl het beneden *C* aanwezige water door *e* in de buis *d* treedt, en uit deze wegstroomt door de buis *g*.

Het op- en nedergaan van den zuigertoestel in de buis *d*, wordt op de volgende wijze voortgebragt. De buis *h* is door de buis *n* met het boveneinde van de buis *d* vereenigd; aan de knie van buis *n* is echter eene kraan *r* aangebragt, die naarmate van haren stand nu eens het bovenste gedeelte der buis *d* met *h* vereenigt, en dan weder deze vereeniging afbreekt en het bovenste gedeelte van de buis *d* met de buitenlucht in verband stelt. Veronderstellen wij nu eene zoodanige plaatsing van de kraan, dat het water uit *h* in het bovenste gedeelte van *d* kan treden, dan is er op den zuiger *s* van boven en van onder eene gelijke drukking van het water; bovendien drukt het water van boven op den zuiger *i*, van onder tegen den zuiger *m*; de zuigertoestel ondervindt derhalve van onder en boven eene gelijke drukking des waters, en daalt door zijn eigen gewigt omlaag.

Om den zuiger omhoog te doen gaan, wordt de kraan zoodanig geplaatst, dat de gemeenschap van *h* met het bovenste gedeelte van *d* wordt afgebroken. Nu werkt de drukking des waters niet meer boven op *s*, en het daar boven aanwezige water stroomt door de kraan uit het werktuig. De drukking des waters boven *i* maakt evenwigt met die, welke van onder tegen *m* werkt, en de drukking van onder tegen *s* drijft den geheelen zuigertoestel omhoog.

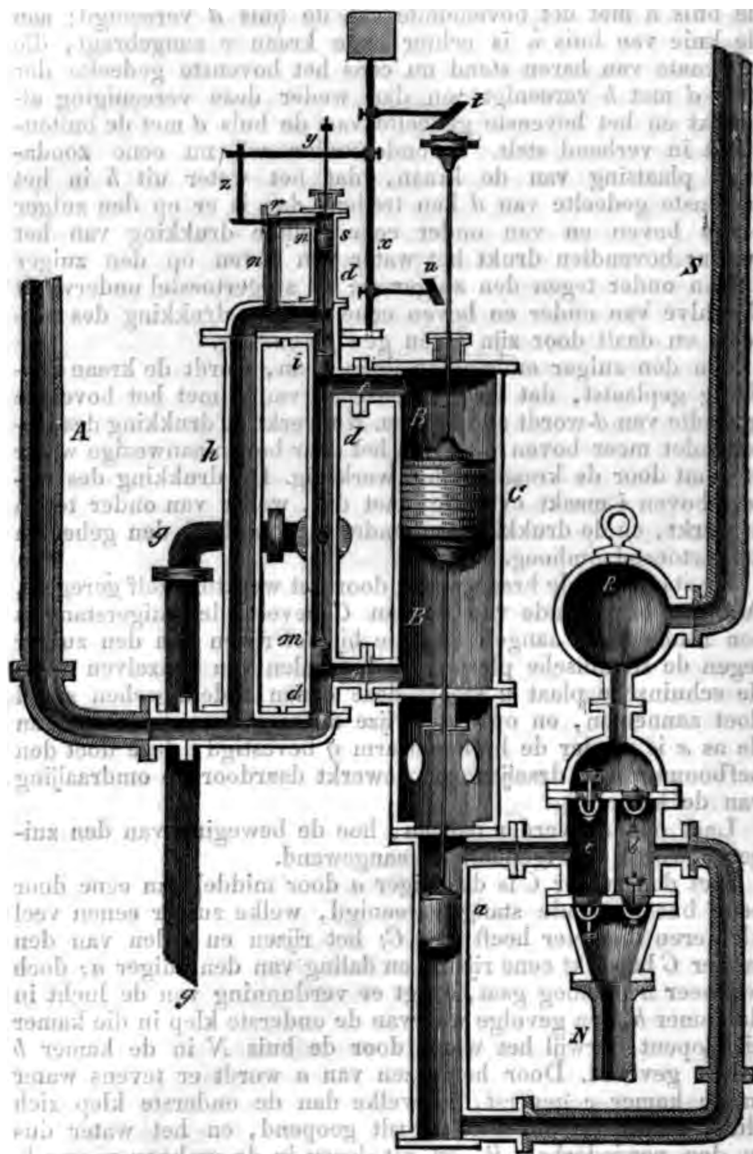
De stand van de kraan wordt door het werktuig zelf geregeld. Aan het boveneinde van de aan *C* bevestigde zuigerstang is een ronde schijf aangebragt, die bij het rijzen van den zuiger tegen de schuinsche plaat *t*, bij het dalen van denzelven tegen de schuinsche plaat *u* stoot, deze eenen zijdelingschen stand doet aannemen, en op deze wijze de as *x* doet draaijen. Aan de as *x* is verder de hefboomsarm *ij* bevestigd, deze doet den hefboomsarm *z* draaijen, en bewerkt daardoor de omdraaijing van de kraan.

Laat ons nu verder nagaan, hoe de beweging van den zuiger *e* wordt voortgeplant en aangewend.

Met den zuiger *C* is de zuiger *a* door middel van eene door eene bus loopende stang vereenigd, welke zuiger eenen veel kleineren diameter heeft dan *C*; het rijzen en dalen van den zuiger *C* bewerkt eene rijzing en daling van den zuiger *a*; doch wanneer *a* omhoog gaat, volgt er verdunning van de lucht in de kamer *b*, ten gevolge waarvan de onderste klep in die kamer zich opent, terwijl het water door de buis *N* in de kamer *b* wordt gevoerd. Door het rijzen van *a* wordt er tevens water in de kamer *c* geperst, in welke dan de onderste klep zich sluit, terwijl de bovenste wordt geopend, en het water dus in den vergaderbak *R*, en uit dezen in de omhoog voerende buis *S* wordt gedreven.

Bij het dalen van den zuiger, worden de kleppen, die geopend

Fig. 164.



werden, gesloten, en de tegenovergestelde geopend; er wordt water in de kamer *c* gezogen, doch dat uit *b* wordt in den vergaderbak en verder gedreven. Indien de doorsnede van den zuiger *C* 2, 3, of 4 maal grooter is dan die van den zuiger *a*, dan kan men (afgezien van den wrijvings- en overigen wederstand) eene kolom waters opvoeren, ter hoogte van 2, 3, of 4 maal de hoogte van het bron-water.

Bij het hier door ons beschouwde werktuig, bedraagt de hoogte van het bron-water 140′; het voert derhalve de zoutbron tot op eene hoogte van 346′; doch deze kolom van zout water staat gelijk met eene kolom van zoet water van 397′; de diameter van den zuiger *C* is $20\frac{1}{2}$, die van den zuiger *a* 10 duim, en de grootere zuiger heeft derhalve eene bijna vier maal grootere oppervlakte. Dat de opgevoerde waterkolom niet vier maal de hoogte bezit van de hoogte des bron-waters, derhalve niet 560′ bedraagt, komt, omdat er eene aanmerkelijke kracht gevorderd wordt, tot het overwinnen van de wrijvings- en andere wederstanden. Dit werktuig geeft derhalve ongeveer 70 percent van het absolute maximum, want 397 verhoudt zich ten naastenbij tot 560, gelijk 70 tot 100.

Een dergelijk werktuig te *Ilsang*, eveneens tusschen *Reichenhall* en *Rosenheim*, doch dat eenigzins anders is ingerigt, heft de bron tot eene hoogte van 1218′, hetgeen voor zoet water eene hoogte van 1460′ zou geven. De diameter van den grooten zuiger is 25″ 8‴, die van den kleinen 11″ $3\frac{1}{4}$‴.

Bij het veranderen van de op- en nedergaande beweging der zuigers in eene gelijkmatig draaijende, zoo als dit het geval is bij stoomwerktuigen, ontmoet men bij het bovengenoemde werktuig groote moeijelijkheden, omdat het water niet zoo veerkrachtig is als de stoom. Bij een kleiner in *Toscane* opgerigt werktuig van dien aard, is dit bezwaar echter door REICHENBACH, door eene vernuftig uitgedachte inrigting der zuigers overwonnen; doch wij kunnen ons hier met dit onderwerp niet uitvoeriger bezig houden.

DERDE HOOFDSTUK.

Beweging der gazen.

Wanneer eenig gas besloten is in een vat, hetwelk op de eene 89
of andere plaats met eene opening voorzien is, dan zal het door deze opening zich naar buiten begeven, zoodra het gas sterker is zamengeperst, dan de lucht in de ruimte, tot welke de vermelde opening leidt. De wetten van het stroomen der gazen

door openingen in dunne wanden, door korte buizen, en door pijpen, zijn geheel en al overeenkomstig met die, welke wij reeds bij de drupvormig vloeibare ligchamen hebben leeren kennen. Toestellen, welke dienen om eene standvastige strooming van gazen te onderhouden, noemt men *gazometers*.

In de scheikundige laboratoria bezigt men gewoonlijk zoodanige gazometers, als in Fig. 165 is voorgesteld. *A* is een cilinder van verlakt blik, van ten naastenbij 16-18 duim hoog en 10-12 duim diameter, en waarvan het bovendeksel eenigzins naar boven gewelfd is. Op dit deksel rust, door middel van drie pooten, eene tweede, van boven opene cilinder *B*, die echter slechts $\frac{1}{3}$ zoo hoog is. De bovenste cilinder staat met den ondersten in verband, door middel van twee buizen, van welke de eene *h* zich juist in het midden van het deksel bevindt. Deze mag volstrekt niet in den ondersten cilinder uitsteken. De vereenigingsbuis *a* loopt tot bijna op den bodem van den cilinder. In elke van die buizen is eene kraan, met welke men naar verkiezing de gemeenschap tusschen de beide cilinders kan daarstellen en afbreken. Bij *e* is eene korte horizontale buis, die eveneens door eene kraan kan gesloten worden, en welke van voren van een schroef is voorzien, om daar aan andere buizen te kunnen bevestigen. Nabij den bodem van den ondersten cilinder bevindt zich, bij *d*, eene naar boven gerigte opening, die met een kurk kan worden gesloten.

Fig. 165.



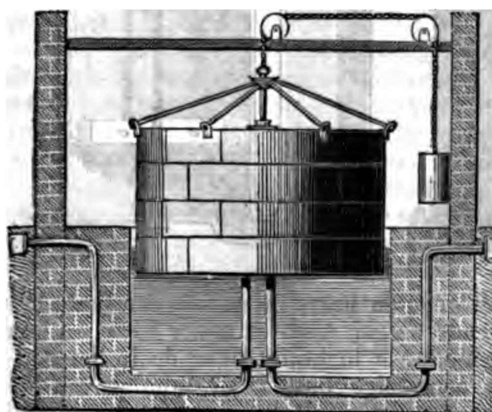
Wanneer men den ondersten cilinder met eenig gas wil vullen, dan wordt hij eerst gevuld met water, en dat wel op de navolgende wijze: De opening bij *d* wordt gesloten, de drie kranen worden geopend, en dan giet men water in het bovenste vat. Het water stroomt in den ondersten cilinder, en wanneer deze zoo ver gevuld is, dat het water bij *e* uit denzelven begint te stroomen, dan wordt deze kraan gesloten. De lucht, die nu nog in het vat aanwezig is, ontwijkt door de buis *h*. Zoodra de onderste cilinder op deze wijze met water gevuld is, worden de kranen der vereenigingsbuizen gesloten, en de schroef of kurk bij *d* weggenomen. Uit deze opening kan het water nu niet wegvloeijen, omdat er geene luchtblazen naar binnen kunnen dringen. Doch zoo men bij *d* eene buis tot het invoeren van gas aanbrengt, dan zal het water ter zijde van deze buis wegstroomen, terwijl er onophoudelijk uit dezelve gasblazen in het bovenste gedeelte van den vergaderbak oprijzen. Op deze wijze wordt de onderste cilinder nu langzamerhand

met gas gevuld. Aan de glazen buis *f* kan men zien, hoe ver de cilinder met gas gevuld is, daar deze buis van boven en van onder met het vat is vereenigd, zoodat het water in dezelve even hoog staat als in den cilinder.

Nadat de geheele vergaderbak met gas gevuld is, wordt de opening bij *d* gesloten, en de kraan van de vereenigingsbuis *a* geopend. Zoodra nu de kraan *e* geopend wordt, stroomt het gas naar buiten, met eene aan de drukking der waterkolom in de buis *a* beantwoordende snelheid.

De groote gazometers, die men bij de toestellen voor de gasverlichting bezigt, zijn anders zamengesteld: een van boven gesloten cilinder, Fig. 166, is in eenen met water gevulden vergaderbak gedompeld. Deze cilinder is uit blik vervaardigd, en heeft b. v. 10 ellen in diameter, bevat 100 kubieke ellen gas, en weegt, zoo als wij zullen aannemen, 10,000 ponden. Hij zinkt niet in het water naar beneden, om dat hij met gas gevuld is, doch zijn geheele gewigt drukt op dit gas, en houdt het onder eene drukking, die grooter is dan die van den dampkring. Ingevolge hetgeen wij hebben aangenomen, bedraagt dit overwigt van drukking 10,000 pond, op eene cirkelvormige oppervlakte van 10 ellen diameter, hetgeen ten naastenbij overeenkomt met de drukking eener waterkolom van 13 duim; buiten den cilinder moet derhalve het water 13 duim hooger staan dan in denzelven.

Fig. 166.

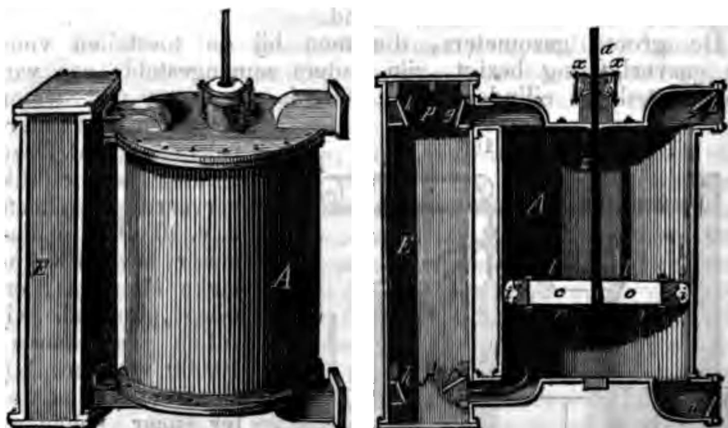


Van onderen af loopt er eene buis in den cilinder, tot zoo verre, dat haar bovenste, opene, uiteinde boven den spiegel van het water uitsteekt; deze buis is verdeeld in eene menigte naauwere buizen, die tot de afzonderlijke gaspijpen leiden, uit welke dan het gas stroomt met eene snelheid, die aan de drukking in den gazometer beantwoordt. Deze snelheid is standvastig, omdat de gazometer, al zinkt hij ook dieper in het water, toch slechts weinig van zijn gewigt verliest, naardien hier enkel de wand van den gazometer in aanmerking komt. De drukking op het gas wordt gematigd en geregeld door middel van een tegenwigt. Ten einde den gazometer te vullen, wordt eene in de verdeelingsbuis aanwezige kraan gesloten, maar daarentegen de kraan van eene andere buis geopend,

door welke laatste buis de gazometer in verbinding gebragt wordt met den toestel, in welken het gas wordt ontwikkeld.

90 **Blaasbalgen.** Bij de smeltovens en smidsvuren gebruikt men op verschilende wijzen ingerigte blaasbalgen. De doelmatigste, tegenwoordig bijna algemeen ingevoerde, soort is de cilinderblaasbalg, die in Fig. 167 is voorgesteld. In eenen goed ge-

Fig. 167.



boorden cilinder *A* van gegoten ijzer, in welken een luchtdigt tegen de wanden sluitende zuiger *C* op en neder bewogen kan worden, loopt de zuigerstang *a* luchtdigt door de in het midden des bovendeksels aanwezige bus. Door middel van de opening bij *b*, staat het bovenste gedeelte, door de opening bij *d* het onderste gedeelte, van den cilinder in gemeenschap met de vrije lucht; door de openingen bij *g* en *f* echter, wordt de cilinder in gemeenschap gesteld met eene vierhoekige kast *E*. Bij *b* en *d* zijn kleppen, die zich naar binnen openen, bij *g* en *f* echter zoodanige naar buiten zich openende kleppen. Wanneer nu de zuiger daalt, sluit zich de klep bij *d*, doch die bij *f* wordt geopend, en al de lucht in het onderste gedeelte van den cilinder wordt in de ruimte *E* gedreven. Intusschen heeft zich de klep bij *g* gesloten, maar door die van *b* dringt de buitenlucht in het bovenste gedeelte van den cilinder. Wanneer de zuiger weder omhoog gaat, wordt *b* gesloten, en al de lucht, die bij het dalen van den zuiger hier naar binnen was gedrongen, wordt door de opening bij *g* in de kast *E* gevoerd, terwijl *f* gesloten is, en het onderste gedeelte van den cilinder door de geopende klep *d* weder met lucht gevuld wordt. De in *E* zamengeperste lucht stroomt door eene bij *m* aangebragte buis naar den vuurhaard.

De snelheid van den zuiger is het grootst, wanneer hij door het midden van den cilinder heen gaat, doch neemt des te

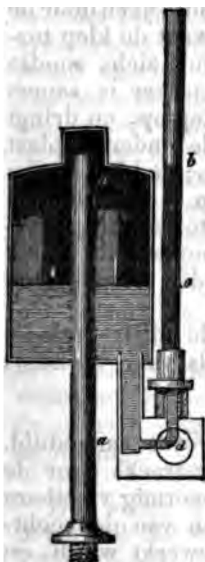
meer af, hoe meer hij van boven of beneden aan het einde van zijnen weg komt. Ten gevolge daarvan kan de wind, in den cilinder bevat, niet gelijkmatig bij *m* uitstroomen. Naardien echter voor de meeste smeltingen een gelijkmatige windstroom een noodzakelijk vereischte is, moet men trachten om dezen te regelen. Men bereikt dit doel, of door aan dezelfde windkast *E* drie cilinders aan te brengen, wier zuigers niet op denzelfden tijd door het midden van dezelve heen gaan, of ook daardoor, dat men de lucht uit *E* eerst in eenen vergaderbak laat treden, wiens ruimte-inhoud veel grooter is dan het volumen van den cilinder. Hoe grooter deze vergaderbak is, die den naam van *regulateur* draagt, des te minder invloed oefent de onregelmatigheid van de beweging des zuigers uit, op de gelijkmatigheid van den uit den regulateur geperssten wind.

Als regulateur voor de blaasbalgen bezigt men of eenen uit ijzerblik luchtdigt aaneengesoldeerden bol, welks inhoud 40 tot 50 maal zoo groot is als die van den cilinder, of wel den in Fig. 168 afgebeelden waterregulateur, die in de hoofdzaak overeenkomt met den gazometer, dien men tot gasverlichting bezigt. In de kast B, die uit luchtdigt aaneengeschroefde ijzeren platen bestaat, en welks inhoud dien van den cilinder verre te boven gaat, stroomt de lucht uit den cilinder door de buis *D* naar binnen, en door de buis *C* weder weg. De lucht in de kast *B* wordt van onder geperst door water, welks niveau in de kast natuurlijk lager staat dan de waterspiegel *v v* daar buiten. Van het verschil in hoogte der waterspiegels is de graad van zamenpersing der lucht in *B* afhankelijk, en derhalve ook de snelheid van uitstrooming door de buis *C*.

Fig. 168.



Fig. 169.

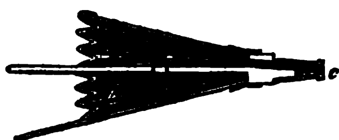


Ter bepaling van de drukking der lucht in de verschillende deelen van den blaasbalg-toestel, bedient men zich van eenen manometer, die, in dit bijzondere geval, den naam van *windmeter* draagt. Een zeer bruikbare windmeter wordt in doorsnede voorgesteld in Fig. 169. Eene van alle kanten luchtdigt geslotene blikken kast is gedeeltelijk gevuld met water. Door den bodem van de kast loopt eene buis *a*, die van onder met eene schroef voorzien is, om dezelve op den blaasbalg-toestel te kunnen bevestigen. Door deze buis staat de toestel in gemeenschap met het bovenste

gedeelte van de blikken kast, en in dit bovenste gedeelte zal derhalve de lucht even sterk zijn zamengeperst als in dat gedeelte van den blaasbalg-toestel, op hetwelk de windmeter is vastgeschroefd. Het onderste gedeelte der blikken kast echter staat in gemeenschap met eene verdeelde glazen buis *b*. Het water wordt door eene opening in het deksel van de blikken kast gegoten, en wel juist zooveel, dat het in de buis ter hoogte van het nulpunt der maat staat; vervolgens wordt deze opening luchtdigt gesloten met eene stop van kurk. Zoodra nu de lucht in het bovenste gedeelte van de blikken kast wordt zamengeperst, klimt het water in de buis, zonder dat er in de kast eene aanmerkelijke daling van den waterspiegel plaats grijpt; het stijgen van de waterkolom boven het nulpunt van de glazen buis, geeft derhalve den graad van drukking aan, welke de lucht binnen den toestel ondergaat. Door middel van de kraan kan de gemeenschap van de blikken kast met de glazen buis naar verkiezing worden afgebroken.

De blaasbalg, in zijne eenvoudigste gedaante, is genoegzaam bekend. Met eenen eenvoudigen blaasbalg kan men echter geenen aanhoudenden luchtstroom bewerken, zoo als dit in smederijen, in chemische laboratoria enz. gevorderd wordt; doch daartoe bedient men zich van eenen zamengestelden blaasbalg, zoo als in Fig. 170. Wanneer de bovenste afdeeling *a* van eenen zoodanigen blaasbalg met lucht gevuld is, welke door gewigten, op het bovendeksel geplaatst, wordt zamengeperst, dan kan deze alleen ontwijken door de opening bij *c*; want de klep tusschen *a* en *b* sluit zich, zoodra de lucht in *a* sterker is zamen geperst dan in *b*, zij ligt de naar *a* voerende klep op, en dringt in de bovenste ruimte. Bij het dalen van de onderste plaat wordt de klep tusschen *a* en *b* weder gesloten; de klep, welke uit *b* in de vrije lucht voert, opent zich, en *b* vult zich op nieuw met lucht, die wederom in de bovenste ruimte gedreven wordt. Men begrijpt ligt, dat het uitstroomen der lucht uit *a* door de opening *c* niet afgebroken wordt, terwijl *b* op nieuw met lucht gevuld raakt.

Fig. 170.



91 **Wetten van het uitstroomen der gazen.** Voor de uitstroomingssnelheid der gazen gelden dezelfde wetten als voor vochten, d. i. de snelheid van uitstrooming is

$$c = \sqrt{2 g s},$$

wanneer door *s* de hoogte van drukking wordt aangeduid. Hier echter is *s* eene grootheid, die niet regtstreeks door de waarneming gevonden is, zoo als bij de drupvormig vloeibare ligchamen. Voor deze duidde *s* de hoogte aan van de vochtkolom, door wier drukking de uitvloeijing bewerkt wordt, en

die denzelfden aard en digtheid heeft als de uitstroomende vloeistof. De in eenig vat beslotene gazen worden echter nooit door eene luchtkolom van gelijkmatige digtheid en van eene juiste begrensde hoogte zamengeperst, want zelfs wanneer het gas enkel zamengeperst ware door de drukking van den dampkring, dan is nog de luchtkolom, welke deze drukking te weeg brengt, niet van eene gelijkmatige digtheid, noch van eene meetbare hoogte. Zelfs in dit geval derhalve kan s niet regtstreeks door het gewigt bepaald worden. Gewoonlijk evenwel meet men de drukking, door welke de lucht uit eenen vergaderbak wordt uitgedreven, door de hoogte eener water- of kwikzilverkolom, die men aan eenen manometer waarneemt. De waarde van s, die voor de bovenvermelde waarde der snelheid van uitstrooming moet worden gesteld, wordt derhalve altijd uit de waargenomen omstandigheden berekend.

Het eenvoudigste geval dat hier in aanmerking kan komen, is dat, waarin lucht onder de drukking van éénen atmospheer in eene luchtledige ruimte stroomt. De gemiddelde drukking van den dampkring maakt evenwigt met eene waterkolom van 32 voet, of 10,4 el. De digtheid der lucht echter, welke deze gemiddelde drukking moet dragen, is 770 maal minder dan die van water; derhalve zou eene luchtkolom van deze digtheid eene hoogte van $770 \times 10{,}4 = 8008$ el moeten hebben, om evenwigt te maken met de drukking des dampkrings; in dit geval zou dus $s = 8008$ el, en derhalve $c = \sqrt{2.9{,}8.8008} = 396$ el zijn.

Indien de lucht uit eenen vergaderbak, in welken zij slechts door de drukking van eenen halven atmospheer is zamengeperst, in eene ledige ruimte stroomt, zal de uitstroomings-snelheid even groot zijn als in het vorige geval, namelijk 396 el. De reden daarvan kan men gemakkelijk begrijpen, want ofschoon hier de uitstrooming slechts door eene half zoo groote drukking wordt voortgebragt, bezit ook de uitstroomende lucht slechts de halve digtheid. Over het algemeen is de snelheid, waarmede de lucht in eene ledige ruimte stroomt, altijd dezelfde, hoedanig ook de drukking zij, door welke het uitstroomen bewerkt wordt.

Indien de uitstrooming plaats grijpt in eene ruimte, welke reeds lucht, hoewel met geringe spanning, bevat, dan is het streven om te ontwijken, gelijk men kan nagaan, geëvenredigd aan het verschil der spanning van beide zijden. Zoo wij het onderscheid van beide spanningen ons voorstellen door eene luchtkolom, van de hoogte H en met de digtheid van de sterker zamengeperste lucht, dan is de snelheid van uitstrooming

$$c = \sqrt{2\,g\,H}.$$

Wij willen trachten, om de waarde van H te bepalen, voor het geval dat er uit eenen vergaderbak sterker zamengeperste lucht in de dampkringslucht stroomt. De zamenpersing der

lucht in den vergaderbak zij gelijk aan eene waterkolom, wier hoogte wij zullen uitdrukken door h. Deze hoogte h duidt het verschil der spanning van de binnen- en buitenlucht aan, en ons blijft nu nog slechts over, om na te gaan, hoe hoog eene luchtkolom van de digtheid der lucht in den vergaderbak zou moeten zijn, om eene waterkolom ter hoogte van h in evenwigt te houden. Indien wij nu lucht van eene gemiddelde dampkrings-drukking voor ons hadden, dan zouden wij in de plaats der waterkolom van de hoogte h, eene luchtkolom van 770 h hoogte in de plaats kunnen stellen. Om met dezelfde waterkolom evenwigt te maken, behoeven wij eene luchtkolom van mindere hoogte, wanneer de lucht digter is, en wel staat de gevorderde hoogte in omgekeerde rede van de digtheid der lucht.

De dampkringslucht van gemiddelde drukking, die 770 maal ligter is dan water, wordt als het ware door eene waterkolom van 32 voet of 10,4 el, welke hoogte door b zij aangeduid, zamengeperst, terwijl de lucht in onzen vergaderbak de drukking eener waterkolom ter hoogte van $b' + h$ moet dragen, wanneer door b' de hoogte wordt aangeduid van eene waterkolom, die aan de eventuëele barometerhoogte beantwoordt. De digtheid der lucht van gemiddelde drukking verhoudt zich bij gevolg tot de digtheid der lucht in den vergaderbak, als $b : b' + h$; de lucht in den vergaderbak is derhalve $\frac{b' + h}{b}$ maal digter dan de lucht van eene gemiddelde atmospherische drukking; in de plaats van eene luchtkolom van de hoogte 770 h dezer minder digte lucht kunnen wij dus eene kolom van de hoogte $\frac{770 . h . b}{b' + h}$ van deze meer verdigte lucht stellen, en deze waarde $\frac{770 . h . b}{b' + h}$ moeten wij voor H in de bovenstaande vergelijking stellen; want eene luchtkolom ter hoogte van $\frac{770 b . h}{b' + h}$ en van de digtheid der lucht in den vergaderbak, zou volkomen evenwigt maken met de waterkolom ter hoogte van h. De uitstroomings-snelheid voor ons geval is derhalve

$$c = \sqrt{2 g \frac{770 . b h}{b' + h}}.$$

De hoeveelheid van uitstrooming zou men vinden door vermenigvuldiging van de dwarsche doorsnede der opening f met deze waarde van c, ten minste indien de uitstroomende luchtdeeltjes deze snelheid bezaten op ieder punt van den dwarschen diameter. De uitstroomings-hoeveelheid in t seconden zou derhalve zijn

$$M = f . t \sqrt{2 g \frac{770 b . h}{b' + h}}.$$

Uit de ondervinding leeren wij evenwel, gelijk wij zulks ook reeds bij de drupvormig vloeibare ligchamen hebben gezien, dat de wezenlijke uitstroomings-hoeveelheid geringer is dan de theoretische; en wel moet men de theoretische uitstroomings-hoeveelheid vermenigvuldigen met eenen bepaalden factor μ ten einde de werkelijke te verkrijgen.

Voor het water is deze factor, gelijk bekend is, 0,64, en bijna geheel onafhankelijk van de hoogte van drukking, daar hij slechts zeer weinig vermeerdert, wanneer de hoogte van drukking afneemt. Voor de gazen is echter de waarde van μ zeer veranderlijk. Volgens SCHMIDT, door wien dit onderwerp het eerst naauwkeuriger is onderzocht, is μ bij eene drukkings-hoogte van 3 voet (water) gelijk 0,52. Ingevolge de proeven van D'AUBUISSON kan men, van eene hoogte van drukking van 0,1 tot 0,5 voet, de waarde van $\mu = 0{,}65$ stellen.

Het verschil tusschen de theoretische en de werkelijke uitstroomings-hoeveelheid, berust op denzelfden grond als bij de drupvormig vloeibare ligchamen, en men kan daaruit opmaken, dat er ook hier eene contractio venae moet plaats grijpen, ofschoon wij haar niet regtstreeks kunnen waarnemen.

Door cilindrische, gelijk ook door conische buizen, onverschillig of bij de laatste de wijdere opening naar binnen of naar buiten gekeerd zij, wordt de uitstroomings-hoeveelheid der gazen vermeerderd.

Zijdelingsche drukking der gazen bij het uitstroomen. Wanneer 92
zich lucht door buizen beweegt, moet er een zekere wederstand van wrijving worden overwonnen, en daartoe wordt een gedeelte der spanning van het gas gebezigd, welk gedeelte dus voor de beweging verloren moet gaan. De drukking, welke de spanning van het gas op de wanden der buis uitoefent, neemt des te meer af, hoe meer het tot de opening der buis nadert, waarvan men zich kan overtuigen door manometers, op verschillende plaatsen van de buis aangebragt. Dit komt geheel overeen met de verschijnselen, welke men bij de beweging van vloeistoffen door buizen waarneemt.

Het verschijnsel van de zuiging doet zich bij de beweging van gazen eveneens voor als bij het uitstroomen van vochten. Wanneer men in den bodem van eenig vat, hetwelk zamengeperste lucht bevat, eene opening van 1—2 duim diameter maakt, dan ontsnapt deze lucht met eene groote kracht. Zoo men nabij de opening eene houten- of metalen schijf brengt, van 7—8 duim diameter, dan wordt dezelve, nadat de eerste wederstand voorbij is, niet meer afgestooten; zij is dan in eene zeer levendige trilling, terwijl zij met zeer korte tusschenpoozen bij afwisseling de opening nadert en wederom afgestooten wordt. De lucht ontsnapt daarbij met

Fig. 171.



een groot geruisch tusschen de schijf en den wand. Beproeft men, om de schijf weg te nemen, dan moet men eene groote kracht aanwenden, even alsof de schijf op den wand vastgekleefd ware.

Dit verschijnsel kan men op de navolgende wijze verklaren: De luchtstraal, welke de opening verlaat, moet zich in eene dunne laag tusschen de schijf en den wand uitbreiden (Fig. 171). Bij onveranderde dikte moet zij zich des te meer uitbreiden, hoe meer zij den rand der schijf nadert; zij verkeert derhalve in hetzelfde geval als een straal vochts, die de altijd toenemende dwarsche doorsnede van eene kegelvormige buis moet vullen. Tusschen de schijf en den wand wordt eene ruimte met verdunde lucht daargesteld, ten gevolge van welke de dampkringslucht, van onder tegen de schijf drukkende, haar tegen den wand drukt.

Deze proef kan men ook in het klein nemen, zoo men lucht met den mond blaast door eene buis, die met eene vlakke schijf eindigt. Zoo men nabij de, in de schijf aanwezige, opening der buis, onderwijl men door dezelve blaast, een kaartenblad brengt, dan neemt men ook het hier vermelde verschijnsel waar.

De eenvoudigste wijze om deze proef te nemen, is door FARADAY aangegeven. Men sluite namelijk de vingers der geopende hand vast op elkander, dan zal er toch nog van het eene gewricht tot aan het andere eene spleetvormige tusschenruimte overblijven. Terwijl men nu de hand horizontaal houdt, zoodanig dat de handpalm naar beneden gekeerd is, brenge men de lippen op de tusschenruimte tusschen den wijs- en middelsten vinger, nabij de wortel derzelve, en blaast zoo sterk mogelijk daardoor heen. Indien men nu een stuk papier van drie à vier duim in het vierkant tegen de opening brengt, waardoor de luchtstroom heengaat, dan wordt het niet door dezen luchtstroom voortgeblazen, noch valt door zijne zwaarte naar beneden, hetgeen daarentegen wel geschiedt, zoodra men ophoudt met blazen.

VIERDE AFDEELING.

GEHOORLEER.

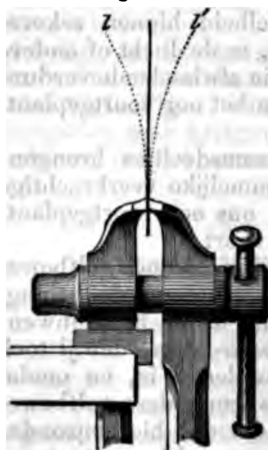
EERSTE HOOFDSTUK.

Wetten der golfbeweging in het algemeen, en van de geluidgolven in het bijzonder.

Slinger- of trilbeweging. Indien men eenen slinger uit den even- 93
wigtsstand brengt en daarna aan zich zelven overlaat, dan zal hij eerst door de zwaarte naar den evenwigtsstand worden teruggevoerd; doch, daar aangekomen, kan hij niet in rust blijven, omdat hij er aankomt met eene zoodanige snelheid, dat hij buiten dien evenwigtsstand wordt gedreven, en volbrengt dan eene reeks van slingeringen, wier wetten wij reeds boven hebben beschouwd.

Bij de beweging van den slinger blijft de betrekkelijke plaatsing zijner deeltjes onveranderd. Doch indien deze betrekkelijke plaatsing der afzonderlijke deeltjes door de eene of andere oorzaak veranderd wordt, dan zullen zij, zoo er krachten aanwezig zijn, welke den oorspronkelijken evenwigtsstand trachten te herstellen, eveneens in eene slingerende beweging geraken, die zich hoofdzakelijk daardoor van de slingerbeweging onderscheidt, dat de wederkeerige stand der deeltjes met elk oogenblik verandert; men heeft hier derhalve niet alleen de slingerbeweging van een afzonderlijk deeltje, maar ook de veranderingen in de wederkeerige ligging der deeltjes te beschouwen.

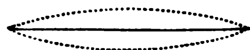
Fig. 172.



De slingerbeweging der afzonderlijke deeltjes eens ligchaams kan van dien aard zijn, dat al de deeltjes te gelijker tijd in beweging komen, te gelijker tijd buiten den evenwigtsstand geraken, op hetzelfde oogenblik de grenzen van hunne slingerwijdte bereiken, en dan gelijktijdig terugkeeren. Zoodanig zijn de slingeringen van eene stalen veer, Fig. 172, van eene tusschen twee vaste punten gespannen snaar, Fig. 173. Dergelijke slingeringen noemt men volgens WEBER „*staande slingeringen.*"

Indien de bewegingen der afzonderlijke deeltjes zoodanig zijn, dat de slin-

Fig. 173.



gerbeweging van deeltje tot deeltje voortschrijdt, zoodat elk opvolgend deeltje wel dezelfde slingeringen maakt, doch met dit onderscheid, dat het zijne beweging later begint, dan zijn dat *voortgaande slingeringen*. Door de voortgaande slingeringen worden *golven* voortgebragt. De beweging, het voortgaan der golf, is hier degelijk van de slingering der afzonderlijke deeltjes onderscheiden.

Als voorbeelden van golfbewegingen noemen wij eene in rust verkeerende watervlakte, waarop men eenen steen laat vallen, een lang gespannen touw, waartegen men aan het eene einde eenen sterken slag aanbrengt, de geluidgolven in de lucht enz. Wij zullen deze verschillende golfbewegingen al spoedig nader beschouwen.

De slingerbewegingen kunnen grooter of kleiner zijn, naarmate van de oorzaak, die de stoornis in het evenwigt te weeg bragt, en naarmate van den aard der kracht, welke streeft om de deeltjes weder in den evenwigtsstand terug te brengen; ten gevolge van dit verschil in grootte kan de uitwendige gedaante der ligchamen aanmerkelijke veranderingen ondergaan; de slingeringen kunnen langzamer of sneller zijn; zij zijn dikwijls zoo langzaam, dat men de afzonderlijke slingeringen met het oog kan volgen en tellen, en dikwijls zijn zij ook zoo snel, dat men de schommelingen niet meer afzonderlijk kan waarnemen.

Wanneer de slingerbeweging eens ligchaams eenen bepaalden graad van snelheid te boven gaat, dan kan hare gezamenlijke werking zich nog uiten door het voortbrengen van golfbewegingen in de omgevende middenstoffen, door welke deze gezamenlijke werking naar bijzonder daartoe ingerigte zintuigs-organen wordt voortgeleid, en daar eene eigenaardige gewaarwording te weeg brengt.

Zoo veroorzaken trillingen, wier snelheid binnen zekere, nader te bespreken, grenzen bepaald is, in de lucht of andere veerkrachtige middenstoffen golven, die, in afwisselende verdunningen en verdigtingen bestaande, tot aan het oor voortgeplant, als *toon* worden waargenomen.

Nog veel sneller trillingen der ligchaamsdeeltjes brengen, door de golfbeweging van eene eigendommelijke veerkrachtige vloeistof, die wij ether noemen, tot in ons oog voortgeplant, daar ter plaatse den indruk van het licht voort.

Naardien nu zoowel geluid- als licht-trillingen door golfbewegingen worden voortgeplant, willen wij vooreerst de belangrijkste wetten der golfbeweging eenigzins nader beschouwen, en deze beschouwing aanvangen met de *watergolven*, dewijl toch aan deze het begrip der golfbeweging ontleend is, en omdat door de kennis der watergolven de kennis van andere golfbewegingen, vooral van de geluidgolven, die ons hier bijzonder moeten bezig houden, veel gemakkelijker gemaakt wordt.

Watergolven. Zoo men eenen steen in het water werpt, vormen er zich kringvormige golven, die van een middelpunt (de plaats waar de steen in het water valt) zich naar alle rigtingen met gelijkmatige snelheid verspreiden, zoo dit niet door eenige oorzaak wordt tegenwerkt. De golven bestaan in afwisselende bergen en dalen, die vrij snel op elkander volgen, en in de rigting van het middelpunt naar buiten voortschrijden. 94

Terwijl nu een watergolf naar buiten voortgaat, deelen evenwel de afzonderlijke waterdeelen niet mede in deze beweging, want men ziet dat een op het water drijvend stukje hout bij afwisseling rijst en daalt, terwijl de bergen en dalen van het water als het ware onder hetzelve heentrekken.

De kracht, door welke de vochtgolvingen hier worden voortgeplant, is de zwaarte; want wanneer door de eene of andere oorzaak eene rijzing of daling in de horizontale oppervlakte des waters bewerkt wordt, is aldra de zwaarte der afzonderlijke waterdeeltjes werkzaam, om het water weder in den horizontalen stand te brengen, en daardoor wordt eene golfsgewijze beweging voortgebragt, die opvolgend van het eene waterdeeltje aan het andere wordt medegedeeld.

Zoodra er eenmaal regelmatige golven gevormd zijn, beschrijven de afzonderlijke waterdeeltjes aan de oppervlakte, gedurende het voortgaan der golf, in zich zelve terugkeerende kromme lijnen, die in sommige gevallen van de grootste regelmatigheid kunnen zijn; alleen in die gevallen, waarin het voor den top van den golfberg aanwezige gedeelte niet gelijk is aan het volgende, beschrijven de afzonderlijke waterdeeltjes kromme lijnen, die niet in zich zelven terugkeeren, zoodanig als die in Fig. 174 en Fig. 175 zijn voorgesteld.

Fig. 174. Fig. 175.



Laat ons nu den zamenhang, tusschen de beweging der waterdeeltjes op zich zelve en het voortschrijden der golf, eenigzins nader beschouwen.

Stellen wij, dat eene geheel regelmatige golfsgewijze beweging, van de linker naar de regter zijde voortgaande, tot aan het waterdeeltje 0, Fig. 176 voortgegaan zij, en dit deeltje nu gedwongen hebbe, eene kringvormige teruggaande beweging te maken. Onderwijl nu het waterdeeltje 0 voor het eerst zijnen loop vol-

Fig. 176.



brengt, zal de beweging der golf zich tot op eenen bepaalden afstand voortzetten. Het door 12 aangeduide waterdeeltje zij nu datgene, tot hetwelk de golfbeweging zich van 0 voortzet, en terwijl 0 zijne eerste omdraaijing eindigt, zal 12 zijne omdraaijing

beginnen, op het oogenblik waarop de tweede omdraaijing van 0 eenen aanvang neemt.

Indien wij ons nu den omvang van den cirkel, die door 0 beschreven wordt, en eveneens de ruimte tusschen 0 en 12 in 12 gelijke deelen verdeeld denken, dan zal de golfsgewijze beweging in de rigting van 0 naar 12 altijd ééne afdeeling verder voortschrijden, onderwijl het deeltje 0 $\frac{1}{12}$ van zijne kringvormige baan aflegt.

Terwijl het deeltje 0 het eerste twaalfde gedeelte van zijne baan aflegt, zet zich de golfbeweging voort tot 1, en terwijl 0 het eerste vierde gedeelte van zijnen loop volbrengt, plant zij zich voort tot 3.

In Fig. 177 zien wij het oogenblik, in welk het deeltje 0

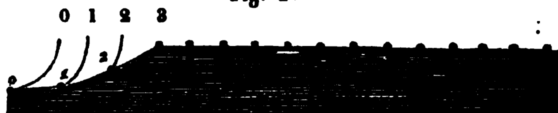


Fig. 177.

het vierde gedeelte of $\frac{3}{12}$ van den kring, welken het moest doorloopen, heeft afgelegd; het deeltje 1 heeft in dit oogenblik $\frac{2}{12}$, het deeltje 2 $\frac{1}{12}$ van zijnen kringvormigen loop volbragt, en het deeltje 3 is nog in den evenwigtsstand.

Fig. 178 stelt het oogenblik voor, waarin het deeltje 0 de


Fig. 178.

helft van zijne baan heeft doorloopen; het deeltje 1 heeft $\frac{5}{12}$, het deeltje 2 $\frac{4}{12}$, het deeltje 3 $\frac{3}{12}$ van zijnen loop volbragt, de deeltjes 4 en 5 bevinden zich op dezelfde plaats als de deeltjes 1 en 2 van de voorgaande afbeelding. Het deeltje 6 is nog niet uit den evenwigtsstand geraakt, maar is juist op het punt om zijne beweging aan te vangen.

Hier heeft nu het deeltje 3 zijnen laagsten stand bereikt, en is het midden van eene golfvallei.

Wanneer er nu wederom $\frac{1}{12}$ verstreken is van den tijd, dien een deeltje behoeft om zijnen kringloop geheel ten einde te brengen, dan zal het deeltje 3 in eenen zoodanigen stand tegenover zijne oorspronkelijke plaats gekomen zijn, als zulks nu het geval is voor het deeltje 2; het deeltje 4 heeft nu zijnen laagsten stand ingenomen, het is ter afstand van het $\frac{1}{2}$ eens cirkels van zijnen evenwigtsstand verwijderd; de golfvallei is derhalve in dit tijddeel van 3 tot 4 voortgegaan.

Door Fig. 179 wordt het oogenblik voorgesteld, waarop het deeltje 0 $\frac{3}{4}$ van zijnen weg heeft afgelegd, waar het hoogste punt van zijne baan is bereikt, en hier is dus de top van den golfberg. Het deeltje 1 heeft reeds $\frac{8}{12}$, 2 $\frac{7}{12}$, 3 $\frac{5}{12}$

Fig. 179.



van de baan afgelegd; de deeltjes 4, 5, 6, 7 en 8 zijn op de plaats van 1, 2, 3, 4 en 5 der vorige figuur. Van het oogenblik af, hetwelk door Fig. 177 is voorgesteld, tot aan dat, hetwelk men in Fig. 179 ziet, is de golfvallei van 3 tot 6 voortgegaan.

Onderwijl het deeltje 0 het laatste vierde gedeelte van zijnen weg ten einde brengt, gaat de golfberg voort van 0 tot 3, de golfvallei van 6 tot 9, en op hetzelfde oogenblik, waarop 0 zijne baan voor de eerste maal heeft ten einde gebragt, en begint met deze voor de tweede maal te doorloopen, zal het deeltje 12 voor de eerste keer zijne loopbaan aanvangen. Dit oogenblik is voorgesteld in Fig. 180, en vereischt geene nadere verklaring.

Fig. 180.

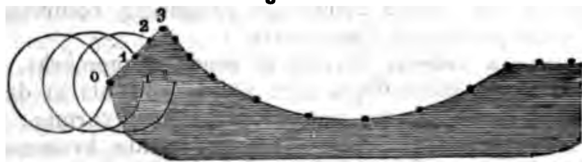


Fig. 181.

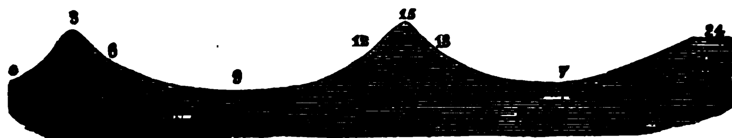


Fig. 181 geeft eene voorstelling van het oogenblik, waarop 0 voor de tweede maal aan het einde van zijnen loop is gekomen. Op dit oogenblik zal 12 zijnen weg voor het eerst hebben afgelegd, en de beweging zich hebben voortgeplant tot aan 24; er is dan een golfberg op het punt 3, een tweede in 15, eene golfvallei in 9 en de tweede in 21.

Zoo nu de golfbeweging ongestoord voortgaat, dan zullen, naardien de afzonderlijke waterdeeltjes voortgaan hunne kring-

vormige loopbanen te volbrengen, de golfbergen zoowel als de golfvalleijen gelijkmatig van de linker naar de regter zijde voortgaan, terwijl het eene deeltje na het andere het hoogste of het laagste punt van zijne baan bereikt.

Zoo gaan dan de golfberg en de golfvallei daardoor voorwaarts, dat aan alle waterdeeltjes dezelfde kringvormige beweging wordt medegedeeld, waarbij echter elk opvolgend deeltje deze beweging later begint dan het vorige.

Den afstand van het eene deeltje tot aan het naastvolgende, hetwelk in eenen gelijken slingerings-toestand verkeert, noemt men de *lengte der golf*, derhalve den afstand van 0 tot 12; van 12 tot 24; want deze deeltjes beginnen gelijktijdig hunne slingering, en bereiken te gelijker tijd hunnen hoogsten en hunnen laagsten stand. Bij gevolg is ook de afstand van den top eens golfbergs tot dien van den naastvolgenden eene golflengte; derhalve in onze figuur van 3 tot 15, en ook van het midden van eene golfvallei tot dat van de eerstvolgende, en dus hier van 9 tot 21.

De deeltjes welke ter afstand van ½ golflengte van elkander verwijderd zijn, zoo als 0 en 6, 3 en 9, 9 en 15, verkeeren steeds in tegenovergestelde slingering. Het deel 9 b. v. vormt juist het laagste punt van de golfvallei, 3 en 15 daarentegen den top van eenen golfberg. De deeltjes 0 en 6 bevinden zich wel beide ter hoogte van hunnen evenwigtsstand, doch de beweging van 0 is naar beneden, die van 6 naar boven gekeerd.

Den tijd, dien een deeltje behoeft om eene slingering te volbrengen, noemt men den *duur* eener slingering.

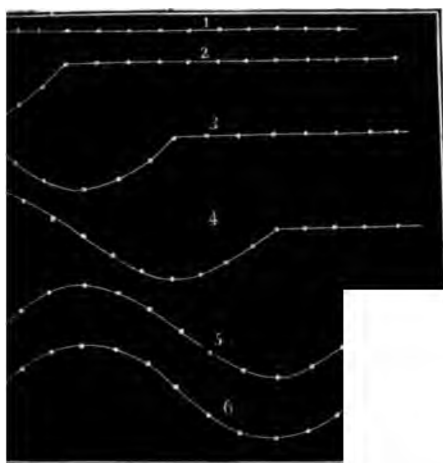
Onderwijl een deeltje zoodanige slingering volbrengt, gaat de golf eene golflengte voorwaarts.

95 **Golvingen van touwen.** Boven is reeds aangemerkt, dat de loopbanen der waterdeeltjes niet altijd, zoo als in de teekeningen was aangenomen, naauwkeurig kringvormig, ja zelfs niet eens altijd in zich zelve terugkeerende kromme lijnen zijn. Dikwijls gaat de cirkelvormige baan in de elliptische over, terwijl nu eens de horizontale, dan weder eens de loodregte diameter het grootst is. Zoo de horizontale diameter gelijk nul ware, dan zouden de afzonderlijke deeltjes enkel regthoekig op de rigting, in welke de golven zich voortzetten, op en neder slingeren. Van dezen aard is de beweging, die zich aan een gespannen touw voortplant. Wij zullen later ook eene zoodanige beweging bij de leer van het licht leeren kennen.

Door de Figuren 1 tot 6 (Fig. 182) wordt de voortplanting van zulke golven aanschouwelijk voorgesteld. Deze figuren beantwoorden volkomen aan de afbeeldingen in Fig. 177 tot 181 voorgesteld; men kan ze uit deze afleiden, zoo men het horizontale gedeelte der beweging gelijk nul stelt, en zij zullen dus ook wel zonder nadere verklaring begrepen worden.

Wanneer eene touwgolf, naar haar bevestigingspunt voort-

Fig. 182.



gaande, aldaar aangekomen is, wordt zij teruggekaatst; zij keert dan weder naar het andere einde terug, en loopt nu herhaalde keeren heen en weder. Zoo er nu echter onophoudelijk nieuwe golvingen gevormd worden, zal het zoo ver komen, dat de terug gekaatste golen de nieuw aankomende ontmoeten, en door het zamen weren der beide golvingen worden er dan *staande* golven verwekt.

De vorming van staande touwgolvingen door de zamenwerking 96
interferentie) van de directe en der terug gekaatste golven, ullen wij hier niet nader onderzoeken, dewijl wij later toch n eene naauwkeuriger beschouwing zullen moeten treden van le, op dezelfde gronden steunende, vorming van staande uchtgolven door de interferentie van eene directe en eene eruggekaatste reeks van golvingen; wij willen ons hier nog lechts bezig houden met de nadere beschouwing der soort 'an beweging van een touw of eene snaar, bij zoodanige staande lingeringen.

Het eenvoudigste geval is datgene, waarin het touw in de igting van zijne geheele lengte slingert, zoo als wij dit in Fig. 183 zien afgebeeld. Deze beweging kan men daardoor bewerken, dat men het middelste gedeelte van een niet te vast gespannen touw, van 10—20 voet lengte, een weinig uit den evenwigtsstand trekt (het liefst naar de linker of regter zijdë) en dan het touw aan zich zelf overlaat. Al de leeltjes bevinden zich te gelijker tijd aan de eene zijde van len evenwigtsstand, en vervolgens weder aan de andere zijde; zij bereiken te gelijker tijd het maximum van hunne afwijking uit den evenwigtsstand naar de regter zijde, en komen gelijktijdig weder aan op de eindpunten hunner loopbaan aan de andere zijde. Derhalve komen de deeltjes die in den toestand van rust zich in f, d en g bevinden, gelijktijdig in f', d' en g'

Fig. 183.



aan; gelijktijdig gaan zij ook hunnen evenwigtsstand weder voorbij, terwijl zij zich allen in dezelfde rigting bewegen, en bereiken in denzelfden tijd de punten *f''*, *d''* en *g''*. Terwijl derhalve al de deeltjes gelijktijdig steeds in dezelfde slingering verkeeren, is slechts hunne slingerwijdte verschillend, deze is voor het deeltje *d* grooter dan voor *f* en *g*.

De slingeringen eener gespannen snaar, die men uit den toestand van rust brengt, of waarop men op het midden van hare lengte met eenen strijkstok raakt, zijn geheel van denzelfden aard. De slingeringen der snaar zijn echter zoo snel, dat men de afzonderlijke trillingen niet meer als zoodanig kan onderscheiden; maar zij brengen daarentegen eenen toon voort. Met opzigt tot dezen toon zullen wij later de slingeringen der snaar nog eens moeten beschouwen.

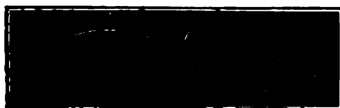
De slingeringen van een niet al te sterk gespannen touw geschieden langzaam genoeg, om ze te kunnen tellen, doch het is moeijelijk, om op de boven aangegevene wijze eene volkomen regelmatige slingerbeweging te bewerken, zoo men het midden van het touw in de rigting van onder naar boven uit zijnen evenwigtsstand brengt, omdat dan de deeltjes niet alleen door de veerkracht van het touw in hunnen evenwigtsstand worden terug gebragt, maar ook door de zwaarte; doch indien men het midden van het touw naar de regter of naar de linkerzijde uit den evenwigtsstand brengt, dan is de beweging voor een gedeelte eene volmaakte slingerbeweging, omdat zoo het touw niet zeer sterk gespannen is, deszelfs midden altijd een weinig naar beneden hangt; zoo het touw evenwel sterker gespannen wordt, dan worden de slingeringen te snel, om ze afzonderlijk te kunnen onderscheiden.

Het best kan men de slingeringen waarnemen aan een touw, waarvan het eene einde is bevestigd, terwijl men het andere einde in de hand houdt, en daarmede met eene gelijkmatige snelheid kleine cirkels beschrijft. Wanneer men de juiste maat van snelheid uit de beweging der hand gevonden heeft, hetgeen bij deze proef gemakkelijk kan geschieden, dan zal het touw in eene zoodanige beweging geraken, dat deszelfs midden eenen grooten cirkel om zijnen evenwigtsstand beschrijft. Al de andere punten van het touw bewegen zich dan eveneens in kringen om hunnen evenwigtsstand; doch deze kringen zijn des te kleiner, hoe nader de punten bij het einde van het touw gelegen zijn.

Wanneer men de beweging der hand versnelt, dan houdt de regelmatige beweging van het touw op; doch men kan dan gemakkelijk de snelheid der hand tot dien trap brengen, dat er in het midden van het touw een rustpunt wordt daargesteld. Iedere helft van het touw slingert dan volkomen op dezelfde wijze, als in het vorige geval het geheele touw; het midden van elke helft beschrijft grootere kringen dan alle *overige* punten; hier wordt dus een *buik* gevormd. In de

nevenstaande Fig. 184 hebben wij twee buiken en eenen *knoop;* zoo noemt men namelijk het rustpunt *k*, door hetwelk de beide slingerende deelen worden gescheiden.

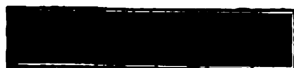
Fig. 184.



Indien *l* zijnen hoogsten stand heeft bereikt, komt *m* op hetzelfde oogenblik in zijn laagsten stand, en omgekeerd.

Bij nog grootere door de hand medegedeelde snelheid, kan men in het touw *twee knoopen* en *drie buiken* daarstellen, zoo als in Fig. 185 is voorgesteld.

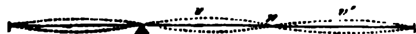
Fig. 185.



Eveneens is het mogelijk, om het touw in nog meer afdeelingen te verdeelen, die altijd door eenen knoop van elkander gescheiden zijn.

Ook aan gespannen snaren kan men de knoopen waarnemen. Fig. 186 verbeeldt eene gespannen snaar, van welke door middel van eenen stoot een gedeelte, ten bedrage van $\frac{1}{3}$ der geheele lengte, wordt afgesneden; derhalve zoodanig, dat de snaar door den kam verdeeld is in twee gedeelten, van welke het eene half zoo groot is als het andere. Zoo men nu het kleinere gedeelte met eenen strijkstok aanstrijkt, dan komt ook het andere gedeelte in trilling, en wel zoo, dat er in *n* een knoop, en in *v* en *v'* twee buiken gevormd worden. Den knoop kan men aanschouwelijk maken, door op verschillende punten van de snaar papieren ruitertjes te zetten, die, bij het aanstrijken, van al de punten worden afgeworpen, behalve van den knoop.

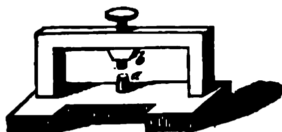
Fig. 186.



Indien de kam zoo geplaatst wordt, dat door denzelven de geheele snaar in twee deelen verdeeld wordt, van welke het kleinste gedeelte $\frac{1}{4}$ van de geheele lengte bedraagt, dan vormen er zich, zoo men dit kleine gedeelte met den strijkstok aanstrijkt, twee knoopen en drie buiken enz.

In platen, klokken enz., kan men eveneens staande slingeringen te weeg brengen. Ten einde platen te doen trillen, kan men zich bedienen van de tang, Fig. 187, die echter zelve zeer goed bevestigd moet zijn. De plaat wordt geplaatst tusschen den cilinder *a* en de schroef *b*, die beide aan hun uiteinde met een stukje kurk of leder bekleed zijn. Zoodra de plaat behoorlijk is vastgeschroefd, kan men slingeringen voortbrengen, door het aanstrijken met den strijkstok.

Fig. 187.



Op deze wijze kan men platen van hout, glas, metaal enz. doen slingeren, onverschillig of zij driehoekig, vierhoekig, rond of elliptisch enz. zijn. De trillende platen brengen, eveneens als de trillende snaren, toonen voort, die nu eens hooger, dan lager zijn. Men bemerkt daardoor, dat de plaat zich voor iederen toon in *slingerende deelen*, en *rust-* of *knooplijnen* verdeelt. Over het algemeen wordt de uitgestrektheid der slingerende deelen kleiner, en het aantal knooplijnen grooter, naarmate de toon hooger wordt.

Ten einde deze knooplijnen aan te toonen, strooit men op de bovenvlakte van de plaat fijn droog zand, hetwelk, onderwijl er een toon verwekt wordt, omhoog springt en neêrvalt, en zich eindelijk aan de knooplijnen ophoopt. Op deze wijze ontstaan de zoogenaamde *klankfiguren*, van welke CHLADNI de uitvinder is.

Met dezelfde plaat kan men, gelijk reeds is aangemerkt, eene menigte verschillende figuren te weeg brengen, naarmate men met den strijkstok sterker of zwakker, sneller of langzamer strijkt, of naarmate het steunpunt van de plaat veranderd wordt, en men aan verschillende plaatsen van den rand strijkt.

In Fig. 188 en 189 is eene reeks van klankfiguren afgebeeld,

Fig. 188.

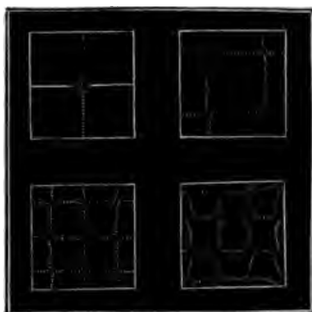
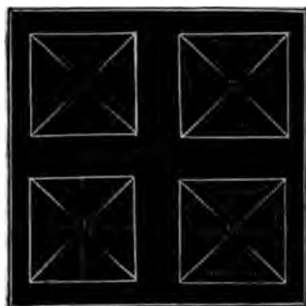


Fig. 189.



die men verkrijgt op eene vierhoekige plaat. Om b. v. het kruis daar te stellen, door welks armen de middelpunten van de beide evenwijdige zijden van het vierkant vereenigd worden (de eerste figuur), moet men het midden van de plaat bevestigen en aan eenen hoek strijken. Zoo men de plaat in het midden bevestigt, en in het midden van eene zijde van het vierkant strijkt, verkrijgt men een kruis, door welks armen de tegenoverstaande hoeken van het quadraat vereenigd worden.

Driehoekige en vierhoekige platen leveren overeenkomstige verschijnselen.

97 **Voortplanting van het geluid in de lucht.** De trilbeweging van een ligchaam, hetwelk rondom door de lucht omgeven is, brengt in deze eene golfbeweging voort, die, tot aan ons *oor* voortgeplant, de ontwaring van geluid te weeg brengt.

Gewoonlijk is het wel de lucht, wier geluidgolven zich in onze ooren voortplanten, doch alle andere veerkrachtige ligchamen, zoowel vaste als vloeibare, zijn in staat, om het geluid meer of minder goed te geleiden; door het luchtledige evenwel wordt het geluid niet voortgeplant.

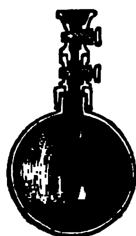
Op het midden der plaat van de luchtpomp legge men een klein kussen van wol of katoen, en daarop plaatse men een uurwerk, voorzien van een klokje hetwelk in beweging kan gebragt worden. Vervolgens plaatse men daarover eene klok, door wier bodem een staafje gaat. Het staafje wordt dan omgedraaid, om daarmede het uurwerk in den gang te brengen. Oogenblikkelijk komt dit in beweging, en daarbij slaat de hamer bij tusschenpoozen op de klok; doch zoo de klok vooraf luchtledig gemaakt was, hoort men niets. Zoo men er nu weder langzamerhand lucht laat binnen treden, hoort men al spoedig den toon, die steeds sterker en sterker wordt, naarmate de klok meer met lucht gevuld raakt. Het geluid kan zich derhalve niet door de ledige ruimte voortplanten.

Het sterkste geluid op de aarde kan zich bijgevolg niet buiten de grenzen van onzen dampkring verbreiden; doch daarentegen kan ook van geen ander hemelligchaam het minste geluid tot onze aarde komen; de geweldigste uitbarstingen zouden op de maan kunnen plaats grijpen, zonder dat wij daarvan iets hoorden.

SAUSSURE zegt, dat op den top van den *Montblanc* een pistoolschot minder geluid maakt, dan zoo men op den vlakken grond een klein kanonnetje afschiet; en GAY-LUSSAC bevond, toen hij met zijnen luchtbol ter hoogte van 700 ellen, en derhalve in eene zeer verdunde lucht zweefde, dat de intensiteit van zijne stem bijzonder verminderd was.

Het geluid kan zich niet enkel in de lucht verbreiden; maar in alle gazen en dampen. Ten einde zich daarvan te overtuigen, hange men in eenen grooten bol een klokje aan eenen ongetwijnden hennepdraad (Fig. 190). Indien de bol luchtledig gemaakt wordt, hoort men het klokje niet meer; doch zoodra men eenige droppels van een vluchtig vocht, b. v. ether, in den bol brengt, worden er oogenblikkelijk dampen gevormd, en het geluid wordt weder hoorbaar.

Fig. 190.



In het water plant het geluid zich zeer goed voort; de duikers hooren wat er aan den oever gesproken wordt, en aan den oever kan men, wanneer twee steenen op eene groote diepte tegen elkander aanslaan, dit duidelijk hooren.

Door vaste ligchamen eindelijk kan het geluid niet alleen verwekt, maar ook voortgeplant worden. Indien men het oor houdt tegen het eene einde van eenen balk, die eene lengte heeft van 20—25 ellen, dan kan men, zoo er aan

het andere einde slechts ligt tegen geklopt wordt, dit duidelijk hooren, zelfs wanneer het daardoor in de lucht verwekte geluid zoo zacht is, dat hij die aanklopte, het zelf ter naauwernood hoorde.

Ten einde de wijze, waarop de geluid-trillingen in de lucht zich voortplanten, aanschouwelijk te maken, willen wij ons voorstellen, dat de lucht in eene, aan het einde opene, buis in slingering gebragt wordt door de trillingen, welke een aan het andere einde aangebragte zuiger te weeg brengt.

In Fig. 191 is eene zoodanige buis voorgesteld; de op evenwijdigen afstand van elkander geteekende streepen, stellen de afzonderlijke lagen der overal even digte lucht voor: *p* is de zuiger. Deze zuiger worde ter lengte van *a g*, Fig. 192, snel heen- en weder bewogen. Eene zoodanige trillende beweging kan niet gelijkmatig zijn, zoo als dit reeds vroeger is aangemerkt. Denken wij nu den tijd, dien de zuiger tot eene heen- en weder-beweging, derhalve van *a* naar *g* en van *g* terug naar *a*, behoeft, in 12 gelijke deelen verdeeld, dan legt de

Fig. 192.

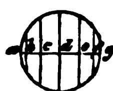


Fig. 191.



Fig. 193.

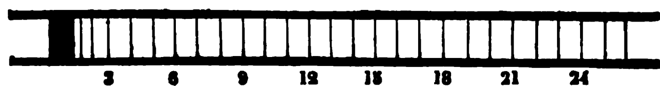


Fig. 194.



Fig. 195.



zuiger in het eerste tijddeeltje den weg *a b*, in het tweede den weg *b c*, in het derde den weg *c d* enz. af; de aanvankelijk langzame beweging neemt dus in snelheid toe; op het einde van het derde tijddeeltje is zij het grootst, en wordt 0 op het einde van het zesde, wanneer de zuiger aan het einde van zijne loopbaan is gekomen, en weder de terugwaartsche beweging aanneemt.

De punten *b*, *c*, *d* enz. verkrijgt men, door eenen cirkel te trekken met eenen aan de slingerwijdte gelijken diameter *a g*, zoo men den omtrek van dien cirkel in 12 gelijke deelen verdeelt, en uit de deelpunten loodlijnen op *a g* trekt.

Deze beweging van den zuiger deelt zich nu langzamerhand aan elke luchtlaag in de buis mede, iedere derzelve zal na verloop van eenigen tijd slingeringen maken gelijk de

zuiger zelf, doch zij zullen de beweging des te later beginnen, hoe verder zij van den zuiger verwijderd zijn.

Indien de lucht geheel onveerkrachtig en hard ware, zou door de beweging van den zuiger de geheele luchtkolom in de buis worden voortgeschoven, en al de afzonderlijke luchtlagen zouden gelijktijdig dezelfde beweging, en wel die van den zuiger, hebben; doch de lucht is veerkrachtig, en de beweging plant zich langzamerhand voort, doordien de lagen, die het naast bij den zuiger liggen het eerst worden zamengeperst, en dan, tengevolge van hare veerkracht, eerst op de navolgende werken.

Beschouwen wij den toestand der lucht op het oogenblik, in hetwelk de zuiger, in beweging gekomen, de helft van zijnen weg naar de regter zijde heeft afgelegd, in welk oogenblik hij dus ter lengte van *a d* van zijne oorspronkelijke plaats is verwijderd, en derhalve in den stand als in Fig. 193 is afgebeeld, aangekomen is: dan zien wij, dat de beweging zich eerst tot aan eene met 3 geteekende laag heeft voortgeplant, d. i. de luchtlaag 3 is nog op hare oorspronkelijke plaats, de lucht tusschen den zuiger en de luchtlaag 3 is zamengeperst, daardoor wordt nu ook deze luchtlaag 3 voortgedreven, en is juist op dat oogenblik in beweging gekomen.

De luchtlagen 1 en 2 (deze cijfers zijn in de figuur niet daarbij geteekend, omdat men gemakkelijk kan zien, welke luchtlagen hier bedoeld worden) hebben hare beweging later begonnen dan de zuiger, en zij zijn dus ook nog niet zoo ver van hare oorspronkelijke plaats verwijderd als deze. De luchtlaag 1 heeft hare beweging $\frac{1}{12}$, de luchtlaag 2 $\frac{2}{12}$ van den tijd, dien de zuiger tot heen- en wedergaan behoeft, later begonnen, en dus is 1 ter afstand van *a c*, 2 echter eerst ter afstand *a b* van hare oorspronkelijke plaats vooruitgegaan.

Op deze wijze laat zich de wederkeerige plaatsing van de luchtlagen tusschen den zuiger en 3 verklaren, zoo als men die in Fig. 197 vindt voorgesteld.

Fig. 198 stelt den zuiger voor op het oogenblik, waarop hij het regter einde van zijnen loopbaan heeft bereikt, en dus ter lengte van *a g* van zijne oorspronkelijke plaats is verwijderd. De beweging heeft zich echter voortgeplant tot aan de luchtlaag *b*, welke juist hare beweging heeft begonnen.

De zuiger is op dit oogenblik in rust gekomen, om de achterwaartsche beweging te beginnen, terwijl 3 daarentegen juist op dit oogenblik in zijne beweging van de linker naar de regter zijde zijne grootste snelheid heeft.

De luchtlaag 1 is ter lengte van *a f*
„ „ 2 „ „ „ „ *a e*
„ „ 3 „ „ „ „ *a d*
„ „ 4 „ „ „ „ *a c*
„ „ 5 „ „ „ „ *a b*
„ „ 6 „ „ „ „ 0

van hare oorspronkelijke plaats verwijderd, en daaruit volgt

de verhouding van de verschillend gelegen lagen tot elkander, zoodanig als zulks in Fig. 196 is voorgesteld. Bij 3 is de lucht het meest verdigt.

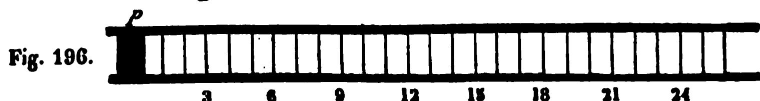


Fig. 196.

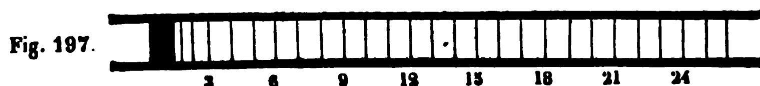


Fig. 197.



Fig. 198.



Fig. 199.

Terwijl nu de zuiger de plaats, die hij in Fig. 198 innam, weder verlaat, en naar zijne oorspronkelijke plaats terug keert, plant de beweging zich voort tot aan de luchtlaag 12; deze luchtlaag begint voor het eerst in beweging te komen op het oogenblik, waarop de zuiger voor de tweede maal naar de regterzijde begint te gaan. De plaatsing van elke luchtlaag tusschen 12 en den zuiger, zoo als deze in Fig. 199 is voorgesteld, moet zoodanig zijn, op grond van de navolgende beschouwing.

Zoo lang de zuiger en de luchtlaag 12 zich in hunne oorspronkelijke plaats bevinden, en voor het oogenblik in rust verkeeren, zijn al de daar tusschen gelegene luchtlagen niet op hare oorspronkelijke plaats; al de luchtlagen tusschen den zuiger en 6 hebben eene teruggaande beweging van de regter naar de linker zijde, die tusschen 6 en 12 gaan van de linker naar de regter zijde.

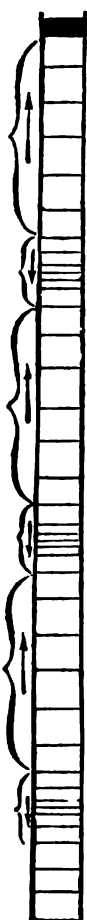
De	luchtlaag	1	is	ter	lengte	van	*a b*
„	„	2	„	„	„	„	*a c*
„	„	3	„	„	„	„	*a d*
„	„	4	„	„	„	„	*a e*
„	„	5	„	„	„	„	*a f*
„	„	6	„	„	„	„	*a g*
„	„	7	„	„	„	„	*a f*
„	„	8	„	„	„	„	*a e*
„	„	9	„	„	„	„	*a d*
„	„	10	„	„	„	„	*a c*
„	„	11	„	„	„	„	*a b*
„	„	12	„	„	„	„	O

van hare oorspronkelijke plaats verwijderd; daaruit volgt dat bij 9 de sterkste verdigting, doch bij 3 de sterkste verdunning van

de lucht plaats grijpt; de luchtlaag 3 heeft juist hare grootste snelheid in de rigting naar de linker zijde, de luchtlaag 9 verkeert in het oogenblik van hare grootste snelheid naar de regter zijde.

Indien nu de zuiger in rust bleef, zou de luchtlaag 1, en vervolgens 2, 3,4 enz. weder in hare oorspronkelijke plaats terugkomen, om daarin vooreerst te verblijven, onderwijl dat de beweging zich weder naar de regter zijde voortplant; op het oogenblik b. v., waarop 3 weder op hare oorspronkelijke plaats komt, zal de beweging zich hebben voortgeplant tot 15, het maximum der verdigting zal ter hoogte van 12, het maximum der verdunning zal nu bij 6 zijn. Op het oogenblik, waarop 12 weder in zijne oorspronkelijke plaats terug komt, is het maximum der verdunning bij 15, het maximum der verdigting tot 21 voortgegaan; en de luchtlaag 24 is nu juist begonnen zich naar de regter zijde in beweging te stellen enz.

Fig. 200.



De afstand van den zuiger tot aan 12 stelt eene golf, die van 12 tot 24 eene tweede golf daar; immers de lengte eener golf is de afstand van twee deeltjes, die zich altijd in gelijken slingerings-toestand bevinden; de zuiger en de luchtlagen 12 en 24 beginnen gelijktijdig hunne beweging naar de regter zijde; zij doorloopen altijd hunne baan, naar de regter zijde heen en terug, in gelijken tijd en op dezelfde wijze.

Iedere golf bestaat uit een verdund en een verdigt gedeelte; de eerste beantwoordt aan de golfvallei, de andere aan den golfberg van de watergolven.

De afstand van het eene maximum van verdigting tot aan het eerstvolgende, derhalve van 9 tot 21, gelijk ook van het eene maximum van verdunning tot aan het volgende, dus van 3—15 stelt eveneens eene golflengte daar.

Fig. 200 stelt het oogenblik voor, waarop de zuiger voor de derde maal eene slingering volbrengt, waarop hij dus drie volkomene, elkander opvolgende voortgaande golven heeft te weeg gebragt. In deze figuur zijn telkens die luchtlagen, welke zich in dezelfde rigting bewegen door een ⏜ verbonden. Het midden van zoodanige ⏜ beantwoordt telkens aan een maximum van verdigting of van verdunning; de op die plaats aanwezige luchtlagen verkeeren juist in het moment van hare grootste snelheid, hetzij naar de regter of naar de linker zijde. De luchtlagen, welke zich daar bevinden waar twee ⏜⏜ elkander raken, verkeeren voor het oogenblik in rust, naardien zij zich juist op het regter of linker einde bevinden van de baan, welke zij heen en weder doorloopen.

Naardien, gelijk wij aldra zullen zien, de voortplantings-snelheid van de geluidgolven onafhankelijk is van den tijd, gedurende welken ieder afzonderlijk deeltje eene slin-

gering volbrengt, — terwijl toch eene golflengte de ruimte is, die door de golf wordt doorloopen in den tijd dat eene afzonderlijke luchtlaag eene slingering volbrengt, — is het duidelijk, dat de golflengte in dezelfde verhouding grooter wordt, naarmate de slingering der afzonderlijke luchtlagen langer duurt. Indien de zuiger, en bijgevolg ook de volgende luchtlagen, eene slingering in het dubbele, drie- of viervoudige van den tijd volbrengen, dan zal ook de golflengte drie-, vier- enz. maal grooter worden.

Ter eenvoudiger voorstelling, hebben wij hier de voortplanting van de luchtgolven in eene buis beschouwd, doch juist op dezelfde wijze planten ook de golven in de vrije lucht zich van de trillende ligchamen naar alle zijden voort; en op dezelfde wijze als er op die plaats in het water, waar een steen in hetzelve gevallen is, zich kringsgewijze golven vormen, zoo vormen er zich ook om het trillende ligchaam bolvormige luchtgolven.

Wij hebben nu gezien, op welke wijze het geluid (zoo noemen wij alle werkingen op ons gehoororgaan) ontstaat en voortgeplant wordt; doch de indrukken, welke ons gehoor ontwaart, zijn van eenen verschillenden aard. Het geluid, hetwelk men waarneemt, wanneer er door eenen plotselingen, niet herhaalden stoot, b. v. door eene ontploffing, eene sterke verdigting in de lucht wordt te weeg gebragt, welke verdigting dan op de bekende wijze voortgaat, zonder dat er verdere golven volgen, noemt men eenen *knal;* het geluid daarentegen, hetwelk door regelmatige trillingen verwekt, en door regelmatig op elkander volgende, gelijke, golven wordt voortgeplant, heet *toon.* Zoo de golfbeweging, waardoor het geluid naar het oor wordt voortgeplant, meer en meer onregelmatig wordt, dan gaat de toon over in *geruisch.*

De toonen zelve bieden echter ook onderling zeer groote verschillen aan, van welke vooral het verschil tusschen *hooge* en *lage* toonen merkbaar is. De toon is des te hooger, hoe korter de tijd van trilling is van het ligchaam, door hetwelk hij verwekt wordt, hoe kleiner de luchtgolven zijn, die hem voortplanten.

De *intensiteit* der toonen is niet afhankelijk van den duur der trilling en van de golflengte, maar van de *uitgebreidheid van trilling;* hoe grooter de trillingsuitgebreidheid van het geluidgevende ligchaam is, des te aanmerkelijker is de graad van verdigting en der opvolgende verdunning van de luchtgolven, welke het geluid voortplanten.

De *klank*, de *aard* van de toonen, is veel moeijelijker te bepalen dan de intensiteit; bij gelijke hoogte van toon is de soort van toon eener viool zeer verschillend van dien eener fluit; de natuurkundigen zijn het over de oorzaak van dit verschil ook volstrekt niet eens, doch het is zeer waarschijnlijk, dat de klank afhankelijk is van de orde, in welke de snelheden en de veranderingen der digtheid der verschillende luchtlagen, tusschen de beide einden der golf, elkander opvolgen, en dat het

in vele gevallen kan zijn, dat het verdigte en verdunde gedeelte der golf niet symmetrisch zijn.

Snelheid van het geluid. *Alle toonen, hoedanig ook hunne hoogte of laagte, hunne intensiteit of klank moge zijn, verbreiden zich in de lucht met gelijke snelheid,* want wanneer verschillende menschen op verschillende afstanden hetzelfde concert aanhooren, dan hooren zij naauwkeurig dezelfde maat en dezelfde harmonie; hetgeen niet mogelijk zou kunnen zijn, zoo de hoogere toonen meer snelheid bezaten dan de lagere, of omgekeerd. 98

Terwijl het licht zich voortplant met eene snelheid, die voor de op aarde doorloopen afstanden onmeetbaar is, heeft het geluid eenen aanmerkelijken tijd noodig, om zich slechts op eenigen afstand voort te planten; daaruit kan men eenige verschijnselen verklaren, die zich dikwijls ter waarneming aanbieden. Indien men eenen steenhouwer op eenigen afstand ziet arbeiden, dan hoort men den slag niet op het oogenblik, waarop men den hamer ziet nederslaan, maar eerst dan, wanneer hij weder omhoog geheven wordt, hetgeen eenen indruk maakt, alsof het geluid niet voortgebragt wordt door den aanslag van den hamer, maar integendeel door het losrukken van den steen. Zoo men een regement op den trommelslag ziet marcheren, dan merkt men eene golfsgewijze beweging op, die zich van de tamboers af langs de geheele rij voortplant, en daardoor veroorzaakt wordt, dat niet al de manschappen te gelijkertijd den voet opligten en de nieuwe schrede beginnen, omdat de achtersten den trommelslag later hooren dan de voorsten.

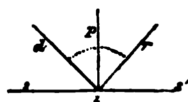
De snelheid van het geluid kan men op eene zeer eenvoudige wijze nagaan; men behoeft slechts waar te nemen, hoeveel tijd er verloopt tusschen het oogenblik, waarop men het vuur ziet van een kanon, hetwelk op eenen bekenden afstand van den waarnemer gesteld is, en het oogenblik waarop men den knal van de ontbranding hoort. Het best kan zulk eene waarneming natuurlijk des nachts geschieden. De naauwkeurigste proeven van dien aard zijn door onderscheidene geleerden, in het jaar 1822, in de nabijheid van *Parijs* in het werk gesteld. De afstand tusschen het kanon en de waarnemers bedroeg 9549,6 toises (1 toise = 6 parijsche voet); tusschen het oogenblik waarop zij de vlam zagen, en dat toen zij het schot hoorden, verliepen er 54,6 seconden, — waaruit volgt, dat het geluid zich in de gewone lucht in eene seconde 174,9 toises = 1049,4 (in een rond getal 1050) voet = 340,88 el ver voortplant.

In andere middenstoffen is de voortplantings-snelheid van het geluid niet dezelfde; in ijzer plant het zich $16\frac{2}{3}$, in water $4\frac{1}{4}$ maal zoo snel voort als in de lucht.

Over de terugkaatsing van het geluid en de echo. Wanneer de geluidgolven uit de eene middenstof in de andere overgaan, dan ondergaan zij altijd eene gedeeltelijke terugkaatsing, doch zoo zij op een vast ligchaam stooten, worden zij bijna volkomen teruggekaatst. 99

Of nu de terugkaatsing gedeeltelijk of volkomen zij, zoo is toch de hoek van terugkaatsing gelijk aan den hoek van inval. In Fig. 201 zij *s s'* de scheidingsvlakte der beide middenstoffen, b. v. lucht en water, en eene geluidgolf bewege zich in de rigting *d i* tegen de watervlakte, dan zal een gedeelte der beweging in het water overgaan, doch een ander gedeelte zal zich voortplanten in de rigting *i r*, welke met de loodlijn *i p* eenen even grooten hoek maakt als *d i*, d. i. de hoek van terugkaatsing *r i p* is gelijk aan den hoek van inval *d i p*. Hetzelfde verschijnsel zou, volgens dezelfde wet, plaats grijpen, zoo *s s'* de scheidingsvlakte ware van twee gazen, of ook slechts van twee lagen van gazen van verschillende digtheid, of zoo *s s'* de grensvlakte ware van een vast ligchaam, doch alleen zou, in het laatste geval, de teruggekaatste toon veel meer intensiteit bezitten. Iemand zich op een punt van de lijn *i r* bevindende, zou den toon derhalve juist zoo hooren, als of hij van *i*, of van een punt van het verlengde der lijn *r i* uitging.

Fig. 201.



Op dit algemeene beginsel berust de verklaring van de *echo*. Ingevalle de echo den toon terugkaatst naar zijn uitgangspunt, dan komen de geluidgolven regthoekig tegen de terugkaatsende vlakte. In dit geval kan eene echo een grooter of geringer aantal van lettergrepen herhalen, waarvan men de voorwaarden ligtelijk kan nagaan. Wanneer men snel spreekt, kan men in 2 seconden 8 lettergrepen duidelijk uitspreken, en in 2 seconden doorloopt de echo 2 maal 340 ellen; indien er zich dus op eenen afstand van 340 el eene echo bevindt, zal deze alle lettergrepen in eene behoorlijke orde terugkaatsen, en de eerste zal na verloop van 2″ tot den waarnemer komen, d. i. op het oogenblik als hij juist de laatste lettergreep heeft uitgesproken. Op dezen afstand kan eene echo dus 7 à 8 lettergrepen herhalen, doch men vindt er ook, die in staat zijn om 14 à 15 lettergrepen te herhalen.

Het is geen volstrekt vereischte, dat de terugkaatsende oppervlakte hard en vlak zij, want op zee neemt men dikwijls waar, dat de wolken eene echo maken.

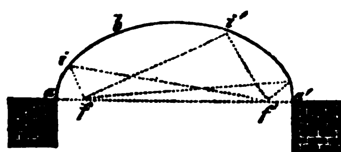
De geluidgolven moeten ook in eenen onbewolkten dampkring worden teruggekaatst, wanneer er door de kracht van de zonnestralen warmte op de oppervlakte der aarde ontwikkeld wordt, want niet op alle plaatsen kan de verwarming gelijk zijn, daar zulks belet wordt door verdamping, schaduw en andere oorzaken. Deze ongelijkheid van temperatuur geeft aanleiding, tot het omhoog rijzen van warme en het nederdalen van koude luchtstroomen van ongelijke digtheid; telkens als nu eene geluidgolf uit eenen zoodanigen luchtstroom in eenen anderen overgaat, zal zij voor een gedeelte worden teruggekaatst, en ofschoon ook de teruggekaatste toon niet sterk genoeg zij om *eene* echo daar te stellen, wordt daardoor toch de directe toon

aanmerkelijk verzwakt. Gelijk HUMBOLDT aanmerkt, is dit stellig de reden, waarom het geluid bij den nacht verder verbreid wordt dan bij dag, zelfs te midden der wildernissen van *Amerika*, waar de wilde dieren, die toch bij den dag zwijgen, des nachts de lucht met duizende verwarde toonen vervullen.

De verklaring van de *veelvoudige echo*, dat is van die, door welke dezelfde lettergreep meer dan eens herhaald wordt, steunt op dezelfde gronden; want dewijl een terug gekaatste toon op nieuw kan worden terug gekaatst, is het ligt te begrijpen, dat twee terugkaatsende oppervlakten eenen toon wederkeerig naar elkander kunnen terug werpen, even als twee tegen over elkander staande spiegels elkander het licht kunnen toestralen. Zoo kan op deze wijze, tusschen twee van elkander afstaande evenwijdige muren, eene veelvuldige echo worden voortgebragt. In vroegeren tijd bestond er nabij *Verdun* eene zoodanige echo, die hetzelfde woord 12 à 13 malen herhaalde; zij werd daargesteld door twee nabij elkander staande torens.

Eindelijk zijn er ook echo's, door welke het geluid in eene bepaalde rigting wordt geleid. Stellen wij, dat de doorsnede van eenig gewelf eene ellips zij, Fig. 202, wier brandpunten in f en f' gelegen zijn. Een geluid, van f uitgaande, wordt door al de deelen van het gewelf naar f' terug gekaatst, want het is eene eigenschap van de ellips, dat, wanneer men van f tot f' stralen trekt naar hetzelfde punt van de kromme lijn, deze ook gelijke hoeken maken met den normaal van dit punt. Zoo derhalve iemand in f en een ander in f' staat, kunnen zij elkander verstaan, zelfs wanneer zij zeer zacht spreken, al bedraagt ook de afstand tusschen de beide punten f en f' 50 tot 100 voeten, terwijl men op alle tusschen gelegen punten geen woord verstaan kan.

Fig. 202.



In de terugkaatsing van het geluid heeft men ook de verklaring van de spreektrompet, en de gehoorbuis.

TWEEDE HOOFDSTUK.

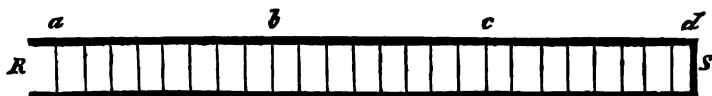
Wetten der slingeringen van muzijkale toonen.

De voortbrenging van staande luchtgolven in gesloten buizen. Indien 100
eene geluidgolf in het opene einde eener, aan het andere einde gesloten buis, treedt, dan wordt zij door den bodem van de buis terug gekaatst, de teruggekaatste golven ontmoeten

echter de pas intredende, en uit de vereenigde werking van deze beide golven-stelsels worden. er staande luchtgolven voortgebragt, zoo de buis eene aan de lengte der geluidgolven geëvenredigde lengte bezit.

Stellen wij, dat de lengte der buis *R S*, Fig. 203, $\frac{1}{4}$ van de

Fig. 203.



lengte der intredende geluidgolf bedraagt, dan is de afstand van de opening tot aan den bodem, en van dezen tot aan de opening juist $\frac{1}{4}$ golflengte; de intredende en de teruggekaatste golf, die aan de opening van de buis elkander ontmoeten, staan derhalve in hunnen loop $\frac{1}{2}$ golflengte van elkander af; — het maximum van digtheid der intredende golf valt hier derhalve zamen met het maximum van verdunning der teruggekaatste golf, en omgekeerd, en aan de opening van de buis grijpt er derhalve zoo min verdigting als verdunning plaats.

Laat ons nu de beweging nagaan waarin de luchtlaag verkeert, die, in haren evenwigtsstand, juist de opening der buis inneemt.

Wij hebben boven, Fig. 199, gezien, dat, zoo op eenig bepaald punt, b. v. op 9, een maximum van digtheid aanwezig is, het deeltje 6, welks evenwigtsstand $\frac{1}{4}$ golflengte voor den evenwigtsstand van het deeltje 9 is gelegen, juist het verst uit dien stand in de rigting van de vooruitgaande golf verplaatst is; terwijl het deeltje 12, welks evenwigtsstand $\frac{1}{4}$ golflengte meer naar voren ligt dan de evenwigtsstand van 9, juist op dit oogenblik in den evenwigtsstand verkeert.

Op het oogenblik derhalve, waarop de intredende golf met haar maximum van digtheid tegen den bodem van de buis stoot, heeft de luchtlaag aan de opening der buis, door de invallende golf, hare grootste mate van verplaatsing naar de regter zijde ondergaan, terwijl zij op hetzelfde oogenblik door de terug gekaatste golf niet naar de tegenovergestelde zijde is gedreven; eveneens is het duidelijk, dat op het oogenblik, waarop de intredende golf met het maximum van verdunning tegen den bodem der buis stoot, de luchtlaag aan den ingang der buis, door de teruggekaatste golf, hare grootste verplaatsing naar de linker zijde van haren evenwigtsstand heeft ondergaan, — de luchtlaag aan den ingang van de buis verkeert derhalve in afwisselende slingering naar de regter en linker zijde, d. i. naar den bodem heen en van denzelven terug, zonder dat hier evenwel eene verdigting en verdunning plaats grijpt.

In eene dergelijke beweging verkeeren nu *te gelijker tijd* alle overige luchtlagen in de buis, doch de slingerwijdte is enkel

des te kleiner, hoe nader de luchtlagen bij den bodem liggen. Dit is duidelijk voorgesteld in Fig. 204, 205 en 206. Fig. 204 stelt de luchtlagen in de buis in haren evenwigtsstand

Fig. 204.



Fig. 205.



Fig. 206.



voor: uit dezen evenwigtsstand bewegen zij zich *gelijktijdig* naar de regter zijde, en komen na $\frac{1}{4}$ slingering in den stand Fig. 205. Bij deze plaatsing der luchtlagen is natuurlijk de lucht aan den bodem van de buis sterk verdigt. Dan begeven al de deeltjes zich *gelijktijdig* van den bodem weg, gaan *gelijktijdig* den evenwigtsstand voorbij, en komen *te gelijkertijd* in den stand Fig. 206. Ten einde de voorstelling duidelijk te maken, is de bovenstaande teekening, wat de slingerwijdte aangaat, bovenmate overdreven, d. i. bij eene buis van die lengte als in de Fig. is voorgesteld, zou in het bedoelde geval de luchtlaag, die aan de opening der buis in haren evenwigtsstand gelegen is, op verre na niet zoo ver in de buis in- en uittreden, zij zou gedurende hare slingeringen slechts weinig naar de linker en regter zijde heenslingeren. Indien echter de slingerwijdte niet zoo groot genomen ware, had het onderscheid van de verdigting en verdunning niet duidelijk genoeg kunnen voorgesteld worden.

Door de interferentie der directe en teruggekaatste slingering is hier derhalve eene staande luchtgolf gevormd; want al de afzonderlijke luchtlagen in de buis beginnen gelijktijdig hare beweging, bereiken gelijktijdig het maximum van hare snelheid, en komen dan op hetzelfde oogenblik aan de grenspunten van hare loopbanen aan, om dan de beweging in tegenovergestelde rigting aan te vangen.

In Fig. 207, 208 en 209 worden de door eene zoodanige

Fig. 207.

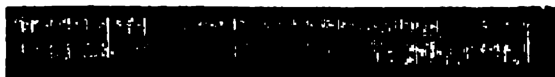


Fig. 208.

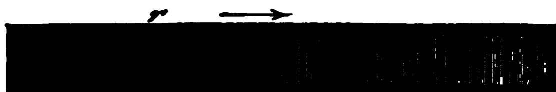
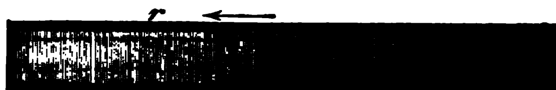


Fig. 209.



staande luchtgolf bij afwisseling voortgebragte verdunning en verdigting voorgesteld. In Fig. 207 is de geheele buis gelijkmatig geschaduwd, en dit dient om het geval voor te stellen, dat de lucht in de geheele buis eene gelijkmatige digtheid bezit; zoo als in die oogenblikken, wanneer al de afzonderlijke luchtlagen met het maximum van hare snelheid den evenwigtsstand voorbij gaan. Wanneer de deeltjes, in hunne slingering naar het gesloten einde der buis, aan de eindpunten hunner baan zijn aangekomen, dan grijpt hier eene verdigting plaats, Fig. 208. Nu beginnen de afzonderlijke luchtlagen zich van het gesloten einde te verwijderen, en na $\frac{1}{2}$ slingering bestaat hier eene verdunning, Fig. 209. Aan het opene einde der buis grijpt er geene merkbare verdigting of verdunning plaats; maar hier bewegen de luchtlagen zich tusschen de ruimste grenzen heen en weder.

De pijl in Fig. 208 en 209 duidt aan, in welke rigting de beweging der deeltjes begint, op het oogenblik wanneer aan den bodem juist het maximum van verdigting of verdunning aanwezig is.

Zoo er nu in de buis, b. v. bij *r*, eene opening gemaakt ware, zou daardoor de vorming der staande golf bemoeijelijkt, zoo niet geheel verhinderd worden, omdat op het oogenblik van de verdigting hier ter plaatste lucht zou ontwijken, en op het oogenblik van verdunning lucht zou binnenstroomen. De nadeelige invloed van zulk eene opening zou echter geringer zijn op die plaatsen, welke nader bij het opene einde gelegen zijn, omdat hier de verdunning zoowel als de verdigting in minderen graad plaats grijpt.

Dezelfde nadeelige invloed, dien eene opening te weeg brengt, zou ook worden veroorzaakt, indien men de buis op deze punten afsneed.

De vorming van eene staande luchtgolf in de buis, is derhalve gebonden aan eene bepaalde verhouding tusschen de lengte van de buis en de golflengte van het intredende geluid; in het tot hiertoe beschouwde geval bedroeg de lengte der buis $\frac{1}{4}$ van de golflengte van het intredende geluid; maar ook nog bij andere verhoudingen tusschen de lengte van de buis en de golf, kunnen er in de buis staande luchtgolven worden daargesteld.

Ter vorming der staande golf in de buis is het noodzakelijk, dat digt nabij den bodem de slingerwijdten onmerkbaar klein worden; doch dat hier bij afwisseling verdunning en verdigting plaats grijpt, terwijl er aan het opene einde der buis geene waarneembare verdunning of verdigting bestaat; aan de opening der buis moet derhalve altijd het verdigte gedeelte van de terug gekaatste golf zamen vallen met het verdunde gedeelte der intredende golf, en omgekeerd.

Fig. 210.

Aan deze voorwaarde wordt wel is waar voldaan, indien de afstand van de opening der buis tot aan den bodem $\frac{1}{4}$ golflengte bedraagt, maar ook daardoor, dat die afstand $\frac{3}{4}$, $\frac{5}{4}$, $\frac{7}{4}$ golflengte enz. bedraagt.

In Fig. 210 worde door de lijn *a b* de lengte voorgesteld van de buis, die $\frac{3}{4}$ golflengte bedragen moet, voorts zij $b\,c = c\,d = d\,a = \frac{1}{3}\,b\,a = \frac{1}{4}$ golflengte, dan zal, wanneer de slingering van *a* naar *b* voortgaat, in *c* het verdunde gedeelte eener golf aanwezig zijn, wanneer in *a* de grootste verdigting-plaats grijpt, omdat *c* en *a* $\frac{1}{2}$ golflengte van elkander verwijderd zijn. Indien de golf zich verder dan *b* uitstrekte, dan zou op hetzelfde oogenblik in *c'* weder eene verdigting, in *a'* verdunning plaats grijpen, derhalve in *a* en *c'* gelijke, in *c* en *a'* de tegenovergestelde toestanden; nu evenwel wordt de golf in *b* teruggekaatst, derhalve valt *c'* met *c*, *a'* met *a* zamen, bij gevolg zullen zoowel in *c* als in *a* de verdunning en verdigting tegen elkander opwegen, en er grijpt hier enkel heen- en wedergaan van de luchtlagen plaats, zonder merkbare verandering in de digtheid.

Laat ons nu nagaan, wat er bij *d* voorvalt.

Indien het maximum der digtheid van *a* naar *d* is voortgegaan, zou het ook, zoo er bij *b* geene terugkaatsing plaats greep, van *c'* naar *d'* zijn voortgegaan, en derhalve zijn in *d* en *d'* altijd gelijke slinger-toestanden; door de terugkaatsing bij *b* komt evenwel *d'* juist op *d*, en derhalve valt hier het maximum der digtheid van de invallende en teruggekaatste golf, en $\frac{1}{2}$ slingering later het maximum der verdunning van beide zamen, — bij gevolg zal hier bij afwisseling eene versterkte verdigting en eene vermeerderde verdunning plaats grijpen.

Onderzoeken wij nu den slingerings-toestand van eene in *d* aanwezige luchtlaag, dan vinden wij, dat deze in het geheel niet in beweging is, maar dat zij geheel vast staat; want indien de slingeringen zich verder dan *b* uitstrekten, dan zouden *d* en *d'* zich altijd in volkomen gelijke slingerings-toestanden bevinden, zij zouden zich steeds met gelijke snelheid naar dezelfde zijden bewegen; doch wanneer de golf teruggekaatst wordt, dan zal de teruggekaatste golf aan de luchtlaag *d* juist eene beweging mede-

Fig. 211.

deelen, tegenovergesteld aan die, welke zij, zonder terugkaatsing, aan de luchtlaag *d'* zou hebben medegedeeld, en dus zullen op *d* de beide golfstelsels altijd met gelijke snelheden doch in tegenovergestelde rigting werken; deze luchtlaag moet derhalve in rust blijven.

De Figuren 212 tot 214 geven eene voorstelling van

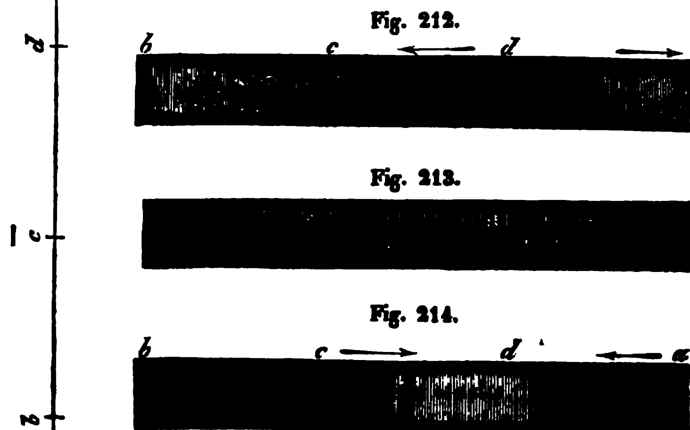


Fig. 212. Fig. 213. Fig. 214.

de staande luchtgolven, die gevormd worden in eene buis, wier lengte $\frac{3}{4}$ van de lengte der invallende geluidgolf bedraagt.

In Fig. 212 zien wij een maximum van verdigting in *d*, een maximum van verdunning aan den bodem der buis bij *b*; al de ter linker zijde van *d* gelegen luchtlagen beginnen gelijktijdig hare beweging in de door den pijl aangeduide rigting, terwijl de ter regter zijde van *d* gelegen luchtlagen zich naar de regter zijde beginnen te bewegen.

Na $\frac{1}{4}$ slingering hebben de afzonderlijke lagen eene zoodanige plaats ingenomen, dat de lucht in de geheele buis eene gelijkmatige digtheid heeft, zoo als dit in Fig. 213 wordt voorgesteld; bij voortgaande beweging in de aangegeven rigting zal weder na $\frac{1}{4}$ slingering de in Fig. 214 voorgestelde toestand intreden; nu is de grootste verdigting bij *b*, de grootste verdunning bij *d*.

Van dit oogenblik af begint iedere luchtlaag zich weder te bewegen naar *d*, en zoo treedt dan, na $\frac{1}{2}$ slingering, weder de toestand, als in Fig. 212 in.

De luchtlagen die ter regter en linker zijde van *d* liggen, bewegen zich of gelijktijdig van *d* weg, of gelijktijdig naar *d* heen, terwijl *d* geene beweging heeft; de luchtlaag *d* stelt derhalve eenen *slingerknoop* daar.

De plaatsen bij *c* en *a*, waar geene verdunning noch verdigting

plaats grijpt, terwijl hier de luchtlagen juist met de grootste slingerwijdte slingeren, noemt men *buiken.*

Ten einde nu werkelijk de lucht in eene geslotene buis in zoodanige slingeringen te brengen, behoeft men slechts het een of ander trillende ligchaam voor het opene einde van de buis te brengen, welk ligchaam eenen zoodanigen toon geeft, dat de lengte der buis $\frac{1}{4}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{5}{4}$ enz. van de golflengte van dezen toon is.

Met dit doel kan men eene gewone stemvork bezigen, die men boven een van onder gesloten glazen buisje, van ongeveer 2 duim lengte, houdt; of eene glazen of metalen plaat, die op dezelfde wijze als ter voortbrenging der klankfiguren van CHLADNI is ingerigt en met eenen strijkstok gestreken wordt, onder welke plaat eene van onder geslotene buis gehouden wordt. Indien de buis de behoorlijke lengte heeft, dan wordt de in haar beslotene lucht-massa, in den toestand van staande slingeringen gebragt zijnde, zelve geluidgevend. Daardoor wordt dan de toon bijzonder versterkt, hetgeen vooral duidelijk wordt waargenomen, indien men het geluidgevende ligchaam boven de opening der buis heen en weder beweegt, zoodat het zich nu eens boven de opening bevindt, en dan weder niet, waarbij dan de toon bij afwisseling sterker en zwakker wordt, — zoo de buis te lang is voor het geluidgevende ligchaam, hetwelk men bezigt, dan kan men haar stemmen door het ingieten van water, dat is: men kan haar daardoor zoo ver verkorten, dat zij de voor het geluid gevende ligchaam vereischte lengte heeft.

Om de lucht in eene buis in staande slingeringen te brengen, en haar dus zelve toonen te doen voortbrengen, is het niet volstrekt noodig, om een geluidgevend ligchaam voor de opening te brengen, zoo als dit reeds uit de orgelpijpen blijkt. Bij deze bewerkt eene langs het opene einde der buis voorbij stroomende, aan hare randen brekende luchtstroom golven, welke, aan den bodem teruggekaatst, met den nieuw invallenden stroom interfereren. Al zijn ook de slingeringen in den beginne niet geheel regelmatig, dan worden zij toch al spoedig (ten minste indien de buis, zoo als men dat noemt goed *aanslaat*) door den invloed der teruggekaatste golven geregeld, zoodat er regelmatige staande slingeringen worden daargesteld, door welke de lucht in de buis geluidgevend wordt.

De toonen, welke eene buis op deze wijze kan voortbrengen, zijn geheel dezelfde als die, welke een ander geluidgevend ligchaam moet voortbrengen, wanneer het, voor de opening der buis gebragt, de lucht in dezelve geluidgevend zal doen worden.

De eenvoudigste wijze, om de lucht in eene kleinere buis toonen te doen voortbrengen, is die, dat men haar in eene loodregte rigting voor den mond houdt, met het gesloten einde naar beneden gekeerd, terwijl men het boveneinde tegen

de onderlip houdt, en dan schuins tegen den rand van de buis blaast.

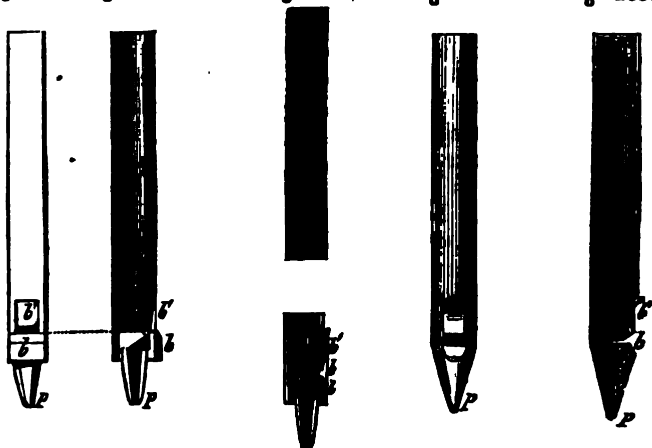
De toonen zijn natuurlijk des te hooger, hoe korter de buis is.

De orgelpijpen zijn gewoonlijk zoodanig ingerigt, als in de onderstaande figuren is voorgesteld.

Men onderscheidt bij dezelve het *voetstuk*, hetwelk dient om wind te geven, het *mondstuk* en de *buis*, in welke de luchtkolom bevat is, door wier slingeringen de toon wordt voortgebragt.

De voet van de orgelpijpen, (Fig. 215—219) is hol, en

Fig. 215. Fig. 216. Fig. 217. Fig. 218. Fig. 219.



uit deze holte komt de lucht door eene fijne spleet in de buis. Het mondstuk *b b'* is meer of minder open, d. i. de bovenste lip *b'* staat meer of minder van de onderste af. Dikwijls is deze bovenste lip verschuifbaar, zoodat men den mond meer kan sluiten of openen.

De wind wordt door middel van eenen blaasbalg in de orgelpijp gedreven,

Wanneer de lucht in het voetstuk van de buis wordt geblazen, dan stelt zij bij het uittreden uit het windgat een dunne laag daar, die tegen de bovenlip gebroken wordt, en daardoor tegen de lucht in de buis die stooten uitoefent, door welke de toonen worden voortgebragt.

Door eene aan het einde geslotene buis kunnen onderscheidene toonen worden voortgebragt. De laagste toon is die, wiens golflengte viermaal zoo groot is als de lengte der buis; de hoogere toonen, welke de buis voortbrengt, beantwoorden aan eene driemaal, vijfmaal enz. kortere golflengte, zij worden dus voortgebragt door staande slingeringen, die eenen drie maal, vijfmaal enz. kleineren slingertijd hebben dan de *laagste toon* van de buis.

De laagste toonen worden door de buis voortgebragt bij zwakkeren, de hoogere bij sterken windstroom.

Opene buizen. In het midden eener buis kan eene grootere verdigting der lucht plaats grijpen dan aan het einde van dezelve, omdat hier de lucht niet ter zijde kan ontwijken. Wanneer nu het verdigte gedeelte eener golf aan het opene einde van de buis aankomt, dan zullen de luchtlagen bij het verlaten der buis gemakkelijk naar alle kanten uiteenwijken, en er zal daardoor eene verdunning ontstaan, die nu, als het ware van het opene einde van de buis teruggekaatst, deze laatste in tegenovergestelde rigting doorloopt, en op deze wijze worden dan hier de staande golven daargesteld. De terugkeerende golf is natuurlijk niet zoo intensief als de oorspronkelijke. 101

Naardien er nu aan het opene einde der buis steeds gelijktijdig verdigting en verdunning plaats grijpt, moet er hier noodzakelijk een buik worden daargesteld, terwijl er alleen in het binnenste der buis slingerknoopen kunnen worden gevormd.

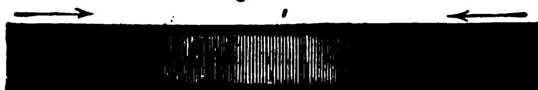
Wanneer de toon van het ligchaam, door hetwelk men de lucht in de buis toonen wil doen voortbrengen, eene geheele golflengte l behoeft, dan moet de lengte van de kortste opene buis, die dezen toon zal aanslaan, $\frac{l}{2}$ bedragen, d. i. de buis is half zoo lang als de golflengte van haren toon. Wanneer derhalve de laagste toon van eene opene en van eene gesloten buis gelijk zullen zijn, dan moet de opene buis eens zoo lang zijn.

Voor den laagsten toon eener opene buis is er een slingerknoop in het midden van hare lengte, en aan ieder einde een buik, zoo als dit in Fig. 220 en 221 is voorgesteld. Fig. 220

Fig. 220.



Fig. 221.



stelt het oogenblik voor, waarop de grootste verdigting plaats grijpt in het midden der buis. Terwijl de luchtlaag in het midden der buis in rust blijft, begint de lucht ter wederzijde zich van het midden te verwijderen, zoo als zulks door den pijl is aangeduid; na eene halve slingering wordt in het midden der buis het maximum van verdunning daargesteld, en nu begint iedere luchtlaag van beide zijden zich naar het midden te bewegen.

De op den hoogsten toon van de buis het eerst volgende toon is die, voor welken een buik in het midden van de búis, maar knoopen in de punten *a* en *b* gevormd worden, welke knoopen ter afstand van $\frac{1}{4}$ der lengte van de buis van de einden verwijderd zijn. Wanneer er in *a* een maximum van verdigting plaats grijpt, zoo als in Fig. 222, dan vindt er in *b* verdunning plaats, en omgekeerd, Fig. 223.

Fig. 222.



Fig. 223.



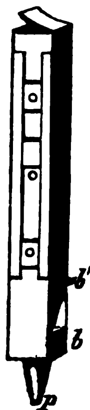
Voor het boven behandelde geval is de golflengte van den toon gelijk aan de lengte der buis; de slingertijd van dezen toon is half zoo groot als die van den grondtoon van de buis.

De derde toon, welken de buis kan voortbrengen, is die, waarvan de golflengte $1\frac{1}{2}$ maal in de lengte der buis bevat is, en voor dezen toon worden drie slingerknoopen gevormd, van welke de een in het midden gelegen is, terwijl ieder der anderen ter afstand van $\frac{1}{6}$ der lengte van de buis of $\frac{1}{4}$ der golflengte van de gevormd wordende geluidgolf, van een der uiteinden af staat.

Duiden wij de lengte eener opene buis aan door *l*, dan zijn de golflengten der toonen, welke zij kan voortbrengen,

$$2\,l,\ \tfrac{2}{2}\,l,\ \tfrac{2}{3}\,l \text{ enz.}$$

Fig. 224.



terwijl

$$4\,l,\ \tfrac{4}{3}\,l,\ \tfrac{4}{5}\,l \text{ enz.}$$

de golflengten zijn van de toonen, welke eene gesloten buis van de lengte *l* kan geven.

Wanneer men op verschillende plaatsen van eene orgelpijp gaten maakt, die men door eene schuif naar verkiezing kan openen of sluiten, zoo als in Fig. 224, dan kan men aantoonen, dat de toon volstrekt niet veranderd wordt door het openen van een gat op die plaats waar een buik is, hetgeen telkens het geval is, zoo er een gat op eene andere plaats wordt geopend.

102 **De muzijkale toonen.** Nadat wij nu een middel hebben leeren kennen, om zuivere toonen voort te brengen, namelijk door orgelpijpen, nadat wij gezien hebben, hoe de hoogte en laagte dezer toonen van de lengte der pijpen afhankelijk is, dat men

derhalve door verlenging en verkorting der buizen de pijpen naar verkiezing kan stemmen, willen wij nu in eene nadere beschouwing treden van de toon-reeks, die in de muzijk van toepassing is.

Laat ons uitgaan van den toon, dien eene geslotene buis van 4 voet lengte als grondtoon geeft; deze toon wordt in de muzijk door *C* aangeduid.

Zoo wij nu naar de toonen vragen, die gezamenlijk met *C* eenen aangenamen indruk op het gehoor te weeg brengen, dan bevinden wij, dat het zoodanige toonen zijn, wier snelheid van slingering in eene enkelvoudige verhouding staat tot die van *C*; dit zijn die toonen, wier golflengte $\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{4}{5}$, $\frac{5}{6}$ der golflengte van den toon *C* bedraagt, en die derhalve voortgebragt worden door buizen, wier lengte $\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{5}{6}$ van die der buis *C* bedraagt.

Naardien de duur der slingeringen zich omgekeerd aan de golflengte verhoudt, zoo maakt derhalve de eerste der bovenvermelde toonen twee slingeringen, terwijl *C* er eene maakt; deze toon heet de *octaaf* van *C*, en wordt aangeduid door *c*.

De toon, welks golflengte $\frac{2}{3}$ bedraagt der golflengte van den toon *C*, maakt drie slingeringen in den tijd dat *C* er twee maakt, deze toon is de *quint* van *C*, en wordt aangeduid door *G*.

De toon met $\frac{3}{4}$ der golflengte van *C*, maakt vier slingeringen in den tijd van drie slingeringen van *C*; hij wordt de *kwart* van *C* genoemd, en aangeduid door *F*.

De toon met $\frac{4}{5}$ golflengte van *C* maakt vijf slingeringen, terwijl *C* in denzelfden tijd vier slingeringen maakt, hij is de *groote Terts* van *C* en wordt aangeduid door *E*.

De laatst vermelde toon, welks golflengte $\frac{5}{6}$ maal grooter is dan die van *C*, brengt zes slingeringen ten einde in den tijd dat *C* vijf malen slingert; dit is de *kleine Terts*, die voorgesteld wordt door *Es*.

Even als *C* zijnen octaaf, quint, kwart, groote en kleine terts heeft, is er ook een octaaf, quint, kwart, groote en kleine terts van *c*.

De grondtoon *C* met zijnen grooten terts *E* en zijnen quint *G* stellen het *C* dür-accoord daar.

Volgens de boven aangegeven verhoudingen maken in denzelfden tijd:

C	*E*	*F*	*G*	*c*
24	30	32	36	48

slingeringen.

Ten einde de reeks van toonen volledig te maken, zouden nu echter *E*, *F* en *G* eveneens hunne accoorden moeten hebben, derhalve hunnen terts en quint, even als *C*.

De quint van *G* is een toon, welke drie slingeringen maakt in den tijd dat er door *G* twee slingeringen worden volbragt: tegen 36 slingeringen van *G* komen derhalve 54 slingeringen van zijnen quint, welken laatsten wij zullen aanduiden door *d*;

de naastvolgende lagere toon van *d* wordt aangeduid door *D*, hij maakt 27 slingeringen in den tijd dat *G* er 36 en *C* 24 maken.

De groote terts van *G*, dien men door *H* aanduidt, moet 5 slingeringen maken tegen 4 slingeringen van *G*, en derhalve gaan er op 36 slingeringen van *G* 45 van *H*.

Naardien 24 zich verhoudt tot 36 (*C* tot *G*) gelijk 32 tot 48 (*F* tot *c*), is *c* de quint van *F*.

De groote terts van *F* moet 5 slingeringen volbrengen, terwijl *F* zelve 4 malen slingert; tegen 32 slingeringen van *F* geschieden derhalve 40 slingeringen van zijnen grooten terts, die door *A* wordt uitgedrukt.

Zoo hebben wij dan eene reeks van toonen, die den naam draagt van toonladder van *C* dur. Te gelijker tijd maken:

C	*D*	*E*	*F*	*G*	*A*	*H*	*c*	*d*	*e*	enz.
24	27	30	32	36	40	45	48	54	60	

slingeringen.

De verschillen tusschen twee telkens op elkander volgende toonen dezer reeks zijn niet gelijk. In de volgende reeks toont de tusschen twee getallen eenigzins lager gestelde breuk aan, hoeveel de snelheid van slingering van den naastvolgenden lageren toon, d. i. van den opvolgenden toon, grooter is:

$$C \;\underset{\frac{1}{8}}{}\; D \;\underset{\frac{1}{9}}{}\; E \;\underset{\frac{1}{15}}{}\; F \;\underset{\frac{1}{8}}{}\; G \;\underset{\frac{1}{9}}{}\; A \;\underset{\frac{1}{8}}{}\; H \;\underset{\frac{1}{15}}{}\; c;$$

in gelijke tijden maakt derhalve *D* $1\frac{1}{8}$ maal zooveel slingeringen als *C*, *E* $1\frac{1}{9}$ maal zooveel als *D*, *F* $1\frac{1}{15}$ maal zooveel als *E* enz.

De interval van *C* tot *D*, van *D* tot *E*, van *F* tot *G*, van *G* tot *A*, van *A* tot *H* heet een *geheele* toon. Men onderscheidt groote geheele toonen, wanneer de interval $\frac{1}{8}$, en kleine, wanneer hij $\frac{1}{9}$ bedraagt.

De interval tusschen *E* en *F*, tusschen *H* en *c*, zijn ongeveer half zoo groot als de overigen, zij worden daarom *halve toonen* genaamd.

Wanneer men, van eenen der andere toonen uitgaande, in dezelfde orde van intervallen voortgaat, verkrijgt men de verschillende ladders in den dur-toon; doch ten einde eenen voortgang in dezelfde orde van intervallen uit iederen toon mogelijk te maken, moesten er nog tusschen *C* en *D*, *F* en *G*, *G* en *H* halve toonen gevoegd worden, die door *cis*, *es*, *fis*, *gis* en *b* aangeduid worden.

Bij de toonen in dur gaat men over van den grondtoon tot aan den grooten terts, en dan, eenen kleinen terts voortgaande, tot den quint over; terwijl daarentegen bij de toonen in mol het accoord gevormd wordt door den grondtoon, den kleinen terts en den quint.

De nadere behandeling der soorten van toonen en der toonladders behoort meer bepaald in de theorie der muzijk dan hier.

Wanneer de grondtoon in eenen bepaalden tijd één slingering maakt, moet de groote terts in denzelfden tijd $\frac{5}{4}$, de groote terts van dezen toon $\frac{5}{4} \cdot \frac{5}{4} = \frac{25}{16}$, en de terts van dezen toon eindelijk $\frac{5}{4} \cdot \frac{5}{4} \cdot \frac{5}{4} = \frac{125}{64}$ slingeringen maken. De laatste toon stemt nu niet naauwkeurig overeen met den octaaf van den grondtoon, die beantwoorden zou aan $\frac{128}{64}$. Wanneer men derhalve in den zuiveren terts voorgaat, bereikt men den zuiveren octaaf niet; en zoo men de zuiverheid der octaven wil behouden, dan moet men iets aftrekken van de volkomene zuiverheid van den terts.

Hetzelfde is het geval bij het voortgaan in de zuivere quinten. Men is daarom verpligt, ten einde de zuiverheid der octaven te behouden, in de muzijk den toon eenigzins hooger of lager te stemmen, dan de zuivere tertsen of quinten zulks vorderen; men moet, gelijk men in de muzijk zegt, den toon eenigzins hooger of lager laten zweven. Deze bemiddeling noemt men de *temperatuur*.

De nadere behandeling der verschillende soorten van temperatuur zou ons hier te verre voeren.

Zoo ons oor gevoeliger ware, zou het door de vermelde onzuiverheid der tertsen en quinten onaangenaam worden aangedaan, en muzijkaal genot zou bijna onmogelijk zijn.

Ingevolge het hier aangegevene, kunnen wij nu ook de verschillende toonen, welke eene en dezelfde buis voortbrengt, nader bepalen. Bij eene opene buis namelijk, is de tweede toon de octaaf van den grondtoon, bij eene geslotene buis is hij de quint van den naast hoogeren octaaf.

De laagste toon, van welken men in de muzijk gebruik maakt, 103
is die, welke door eene geslotene buis van zestien voet lengte wordt voortgebragt. Nu weten wij echter, dat, wanneer eene geslotene buis haren laagsten toon geeft, hare golflengte juist $\frac{1}{4}$ der golflengte van dezen toon is, en dus is de golflengte voor dezen toon in de gewone lucht 64 voet.

Het geluid wordt in eene seconde 1050′ voortgeplant; wanneer men dit getal door 64 deelt, dan vindt men, hoeveel golflengten deze laagste toon in eene seconde voortgaat, of, wat hetzelfde is, hoeveel slingeringen er in eene seconde noodig zijn om dezen laagsten toon voort te brengen; men vindt dan dat dit getal 16,4 bedraagt.
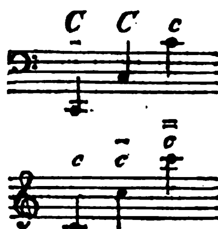
Eveneens vindt men, hoeveel slingeringen in de seconde de lucht in eene geslotene buis maakt, wanneer zij haren laagsten toon voortbrengt, zoo men de *viervoudige lengte van de buis* (in parijsche voeten uitgedrukt) in 1050 deelt.

In het geheel omvat de muzijk 9 octaven. De vermelde laagste toon eener geslotene buis van 16 voet lengte wordt door *C* aangeduid.

Daar nu deze toon 16,5 slingeringen in de seconde maakt, is het onderstaande het getal van de slingeringen der op elkander volgende octaven van dezen toon:

$\underline{\underline{C}}$	16,5
$\underline{C}$	33
C	66
c	132
$\bar{c}$	264
$\bar{\bar{c}}$	528

Met onze noten worden de toonen op de volgende wijze aangeduid:



104 **Toonen van gespannen snaren.** De belangrijkste wetten van de slingeringen van gespannen snaren zijn de volgende:

1°. *Het aantal slingeringen eener snaar verhoudt zich omgekeerd aan hare lengte,* d. i. wanneer eene snaar op het een of ander instrument, zoo als eene viool, eene guitarre enz. gespannen, in eenen bepaalden tijd een aantal slingeringen maakt, dan maakt zij in denzelfden tijd 2 maal, 3 maal, 4 maal enz. zooveel slingeringen, wanneer men, bij denzelfden graad van spanning, slechts $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$. $\frac{1}{4}$ enz. van de geheele lengte liet slingeren; zij zou $\frac{3}{2}$, $\frac{4}{3}$, $\frac{5}{4}$ maal zoo snel slingeren, indien men slechts $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{4}{5}$ der geheele lengte liet slingeren.

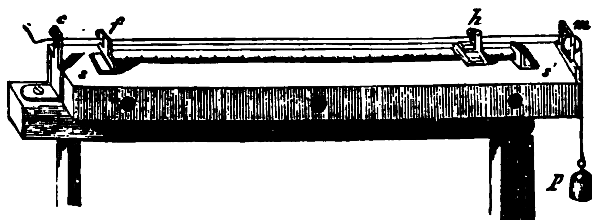
2°. *Het aantal slingeringen van eene snaar is evenredig aan den vierkantswortel uit de spannende gewigten,* d. i. wanneer het gewigt, waardoor de snaar gespannen wordt, 4, 9, 16 maal zwaarder wordt, terwijl de lengte der snaar onveranderd blijft, dan wordt de snelheid der slingeringen 2, 3, 4 maal grooter.

3°. *Het aantal slingeringen van verschillende, uit dezelfde stof vervaardigde snaren verhoudt zich omgekeerd aan derzelver dikte.* Wanneer men b. v. twee staaldraden van gelijke lengte neemt, wier diameter zich verhouden als 1 tot 2, dan zal de dunste, bij gelijken graad van spanning, in denzelfden tijd eens zooveel slingeringen maken als de dikste. Op darmsnaren is deze wet niet altijd naauwkeurig toe te passen, omdat zij niet altijd volstrekt uit dezelfde stof vervaardigd zijn.

Ten einde de belangrijkste wetten der slingeringen van gespannen snaren en van hare toonen, door eene proeve aan te wijzen, bedient men zich van een werktuig, hetwelk zuivere toonen geeft, en waarbij men de lengte der snaren met naauwkeurigheid kan meten. Dit werktuig is het *monochordium.*

In Fig. 225 wordt een zoodanig monochordinm voorgesteld, op

Fig. 225.



hetwelk men eene darmsnaar of eene metalen snaar kan spannen, om te bewijzen dat beidén aan dezelfde wetten onderworpen zijn. De snaar is bevestigd bij *c*, en gaat bij *f* en *h* over eene soort van kam, vervolgens over eene katrol *m*, en eindelijk is aan dezelve een gewigt *p* gehangen. De bewegelijke kam *h* kan langs de snaar verschoven worden, zonder haar te raken; men kan denzelven naar verkiezing op de eene of andere plaats vastzetten en dan de snaar met een schroefje op den kam bevestigen. Wij zullen later zien, dat de holle kast *ss'* dient, om den toon te versterken. Stellen wij nu, dat de snaar genoegzaam gespannen zij, om, vrij slingerende, eenen vollen en zuiveren toon te geven, dien wij als punt van aanvang voor *c* aannemen, dan kan men, door het verschuiven van den bewegelijken kam, de snaar de toonen *d*, *e*, *f*, *g*, *a*, *h*, *c* doen geven. Stellen wij de lengte der snaar, die den grondtoon *c* geeft, op 1, dan hebben de andere toonen de onderstaande lengten der snaar:

Namen der toonen	*c*	*d*	*e*	*f*	*g*	*a*	*h*	*c*
Overeenkomende lengten der snaar .	1	$\frac{8}{9}$	$\frac{4}{5}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{3}{5}$	$\frac{8}{15}$	$\frac{1}{2}$.

De snaar moet derhalve half zoo lang gemaakt worden, om, onder overigens gelijke omstandigheden, den octaaf voort te brengen. Naardien echter de octaaf eens zooveel slingeringen maakt als de grondtoon, maakt derhalve eene half zoo lange snaar eens zooveel slingeringen.

Om den quint te verkrijgen, moet men de snaar tot op $\frac{2}{3}$ van hare lengte verkorten, doch de quint maakt in gelijken tijd $\frac{3}{2}$ maal zooveel slingeringen als de grondtoon.

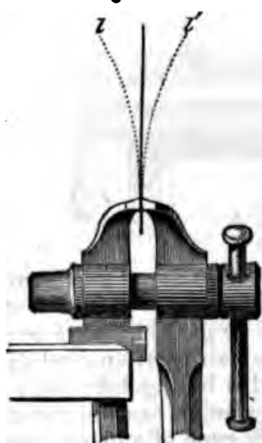
Het aantal slingeringen der snaren verhoudt zich derhalve inderdaad omgekeerd aan hare lengte.

Ten einde, bij dezelfde lengte der snaren, den octaaf te verkrijgen, moet men een 4 maal zwaarder, en om den quint te verkrijgen een $\frac{9}{4}$ maal zwaarder gewigt aanhangen.

Wetten der slingeringen van metaaldraden en staven. Wanneer een metaaldraad of een staaf aan het eene einde bevestigd is, Fig. 226, en men over denzelven met eenen strijkstrok strijkt, of ook denzelven eenvoudig met de hand uit den evenwigtsstand brengt, 105

dan maakt hij tusschen *l* en *l'* eene reeks van slingeringen, die, zoo zij snel genoeg op elkander volgen, eenen toon voortbrengen. Zoo men aan denzelfden staaf verschillende lengten geeft, dan verhoudt zich het aantal der in gelijke tijden gemaakte slingeringen omgekeerd evenredig aan den vierkantswortel der slingerende lengten.

Fig. 226.



106 **Over de tongpijpen.** In het algemeen noemt men eene tong eene trillende plaat, die door eenen luchtstroom in beweging wordt gebragt. In Fig. 227 b. v. zij *p* eene metalen plaat, welke 2 tot 3 millimeters dik is; in dezelve zij eene regthoekige opening, *a b c d* van 3 duimen lang en 7 tot 8 strepen breed, en daarover zij eene zeer dunne en zeer veerkrachtige koperen plaat bevestigd, zoo als in de Fig. wordt aangetoond. Deze plaat kan in trilling geraken, wanneer zij langs de randen *a b*, *b c* en *c d* strijkt. Op deze wijze verkrijgt men een zeer eenvoudig tongwerk, en om het in beweging te brengen, behoeft men slechts de plaat *p* overlangs tegen de lippen te plaatsen, en dan zoodanig te blazen, dat de luchtstroom naar het vrije einde van de plaat *l* gerigt is. Door den luchtstroom wordt zij in slingering gebragt, de opening *p* wordt bij afwisseling geopend en gesloten, waarbij telkens de lucht vrij uitstroomt of waarbij de luchtstroom wordt terug gehouden; op deze wijze ontstaan er geluidgolven, wier lengte afhankelijk is van het aantal der slingeringen, die de plaat *l* ingevolge hare afmetingen en veerkracht in eênen bepaalden tijd kan maken. De toon is dezelfde als wanneer de plaat door mechanische middelen in slingering gebragt werd, doch is enkel veel sterker. Indien men op eene en dezelfde plaat zoodanige strooken bevestigt, welke de op elkander volgende toonen van eenen toonladder geven, dan kan men daardoor een werktuig zamenstellen, op hetwelk men melodien kan spelen.

Fig. 227.



Het tongwerk van de orgels berust op hetzelfde grondbeginsel, behalve dat hier de tong anders bevestigd is. Men onderscheidt daaraan twee elkander rakende buizen, *t* en *t'*, Fig. 228, eenen stop *b*, door welken zij gescheiden worden, en het eigenlijke tongwerk, hetwelk door den stop heengaat. Het tongwerk zelf is in Fig. 229 vergroot voorgesteld; het bestaat uit drie wezenlijk verschillende gedeelten, de *sleuf r*, de *tong l* en de *stemdraad z*.

De sleuf is eene prismatische of half cilindrische buis, die van onder gesloten en van boven open is, maar ter zijde nog

Fig. 228.

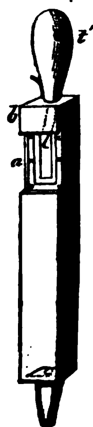
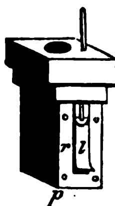


Fig. 229.



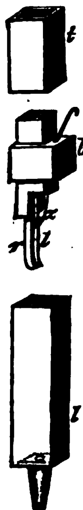
eene opening heeft, door welke de beide buizen met elkander vereenigd zijn.

De tong is de trillende plaat; in haren gewonen stand sluit zij de zijdelingsche opening der sleuf geheel of bijna geheel en al, d. i. zij strijkt bij hare slingeringen met de drie vrije randen langs de randen der opening; de vierde rand is aan de buis bevestigd door eene schroef, of daaraan vast gesoldeerd.

De stemdraad is een dikke metalen draad, die van beneden dubbel omgebogen is, en met zijne geheele breedte tegen de tong aandrukt. Met eenige wrijving kan hij in den stop op en neder geschoven worden, en daardoor is het mogelijk, om het slingerende gedeelte van de tong te verlengen of te verkorten, want het gedeelte hetwelk boven den stemdraad gelegen is, kan niet trillen.

De wind van den blaasbalg treedt door den voet van de buis *t'* in, en drukt tegen de tong, ten einde zich eenen uitweg te verschaffen, en gaat vervolgens door de sleuf en door de buis *t* naar buiten. De tong, hierdoor uit haren evenwigtsstand gebragt, keert al spoedig, ten gevolge van hare veerkracht terug, en maakt daardoor slingeringen, die zoo lang duren als de luchtstroom duurt. In Fig. 228 wordt eene tongpijp voorgesteld, bij welke het tegenover de tong geplaatste gedeelte der buis *t* van glas is vervaardigd opdat men de beweging van deze tong beter zou kunnen waarnemen.

Fig. 230.



Bij orgels zijn de tongpijpen dikwijls eenigzins anders zamengesteld, namelijk zoodanig, dat de randen der tong tegen de randen der sleuf sluiten, zoo als men in Fig. 230 ziet.

Zoo eene tongpijp op zich zelve in de vrije lucht trilt, wanneer er derhalve geene of eene slechts betrekkelijk korte buis boven haar geplaatst is, dan hangt de snelheid van hare slingering, derhalve de toon dien zij geeft, van hare veerkracht en van hare afmetingen af; doch wanneer er eene lange buis op geplaatst wordt, dan wordt daardoor de toon wezenlijk gewijzigd; de beweging van de tong is dan meer afhankelijk van de in de lange buis heen en weder gaande luchtgolven, dan van hare eigene veerkracht; zij wordt dan eigenlijk eerder geslingerd dan dat zij zelve slingert.

Mededeeling der geluidgolving tusschen vaste, druipend vloeibare en luchtvormige ligchamen. 107 Wanneer onderscheidene vaste ligchamen met elkander tot een geheel verbonden zijn, dan verbreiden zich de trillingen, die van een gedeelte van dit systeem uitgaan, met het

grootste gemak als voortgaande golven over de geheele massa; doch aan de grens gekomen, gaan de golven slechts ten deele in de aangrenzende middenstof, een luchtvormig of druipend vloeibaar ligchaam, over; ten deele worden zij teruggekaatst, zoodat er door de interferentie van de teruggekaatste golven met de nieuw aankomende, in de afzonderlijke gedeelten van het vaste systeem staande slingeringen worden voortgebragt. Een zoodanig stelsel vormt een geheel, hetwelk, wanneer een punt in slingering gebragt wordt, zich even als een enkel vast ligchaam verdeelt in afzonderlijke deelen, die door slingerknoopen gescheiden zijn. Ieder afzonderlijk gedeelte verliest eenigermate zijne individualiteit; door zijne verbinding met de naburige deelen wordt het verhinderd om zoodanig te slingeren, als zulks geschieden zou zoo het alleen ware.

Terwijl de geluidgolven zich met gemak verbreiden over een systeem van vaste ligchamen, gaan zij niet zoo gemakkelijk van een vast ligchaam op een druipend vloeibaar, en nog minder gemakkelijk op een luchtvormig ligchaam over; daardoor komt het, dat menig tamelijk sterk trillend vast ligchaam toch slechts eenen zeer zwakken toon laat hooren, alleen omdat het zijne trillingen niet behoorlijk aan de lucht kan medeedeelen. Dit is b. v. het geval met de stemvork, die, in sterke beweging gebragt en vrij in de lucht gehouden, toch slechts eenen zeer zwakken toon geeft.

Ten einde den toon van een zoodanig ligchaam te versterken, moet men de mededeeling van zijne slingeringen aan de lucht bevorderen door den weerklank, d. i. dat men de staande slingeringen van het geluidgevende ligchaam nog op een ander ligchaam tracht over te brengen. Als een middel daartoe hebben wij reeds leeren kennen om het ligchaam, hetwelk eenen zwakken toon geeft, niettegenstaande het sterk trilt, voor eene buis van behoorlijke lengte te brengen, en op deze wijze de luchtmassa in deze buis mede toonen te doen voortbrengen.

Een ander middel om den toon te versterken, bestaat daarin, om het geluidgevende ligchaam met een ander ligchaam, hetwelk ligt in trilling kan gebragt worden, en eene betrekkelijk groote oppervlakte heeft, in aanraking te brengen. Hierop worden dan, gelijk reeds vermeld is, eveneens staande geluidgolven voortgebragt, en deze deelen zich, wegens de groote oppervlakte van het medegeluidgevende (resonerende) ligchaam, ligter aan de lucht mede. Plaatst men b. v. de sterk aangeslagene, doch in de vrije lucht desniettemin zwak geluidgevende stemvork, op eene kast van dun veerkrachtig hout, dan hoort men den toon veel sterker. Daarop berust de aanwending van den klankbodem in onderscheidene muzijkinstrumenten. Bij fluiten, orgelpijpen enz. is geen klankbodem noodig, omdat hier de staande trillingen eener luchtmassa, die zich gemakkelijk aan de omringende lucht mededeelen, den toon geven.

Even als de trillingen van vaste ligchamen in de lucht geluidgolven voortbrengen, kunnen omgekeerd ook geluidgolven die, bij hare verbreiding in de lucht, een vast ligchaam treffen, dit laatste in trilling brengen. Zoo ziet men b. v. de snaar van een instrument in slingering geraken, wanneer zij door de geluidgolven van den toon, dien zij zelve geeft, of door eenen harmonischen toon van dezen wordt getroffen; zoo schudden de vensterruiten hevig onder den invloed van sommige toonen der stem, of van den knal van een kanon. Dit verschijnsel, hetwelk men zoo in het oog loopend waarneemt bij ligt bewegelijke ligchamen, vindt ook plaats bij grootere massa's en minder veerkrachtige ligchamen; al de pilaren en muren van eenen kerktoren schudden meer of minder bij het luiden der klokken.

VIERDE HOOFDSTUK.

Over de stem en het gehoor.

Het orgaan van de stem. Het is bekend, dat de luchtpijp eene 108
buis is, die van de eene zijde in het strottenhoofd, van den anderen kant in de longen eindigt. Hare voornaamste verrigting is, de lucht door te laten, het zij bij de *in-* of bij de *uitademing;* zij is bijna cilindrisch, en zamengesteld uit kraakbeendenige ringen, welke door buigzame vliezige ringen vereenigd zijn. Aan het ondereinde verdeelt zij zich in twee buizen, de *luchtpijpstakken*, van welke de eene ter regter en de andere naar de linker zijde gaat. Ieder dezer takken verdeelt zich verder naar alle kanten heen in het weefsel der long. Van boven eindigt de luchtpijp in het *strottenhoofd*, hetwelk hoofdzakelijk het orgaan voor de stem is.

Het strottenhoofd bestaat uit 4 kraakbeenderen, die eerst op lateren leeftijd verbeenen, namelijk het *ringkraakbeen*, het *schildkraakbeen* en de beide *bekervormige kraakbeenderen*. Deze ligchamen zijn met elkander en met den bovensten ring van de luchtpijp verbonden, en kunnen onder den invloed van verschillende spieren, de menigvuldigste bewegingen maken. De inwendige wand van het strottenhoofd wordt daargesteld door een verlengsel van de luchtpijp, dat steeds naauwer wordt, tot dat er ten laatste enkel eene van voren naar achter loopende spleet, *de stemspleet*, overblijft. De randen van deze stemspleet worden grootendeels gevormd door de *stembanden*. Van voren zijn deze stembanden aan het schildkraakbeen verbonden, maar het tegenovergestelde einde van elken stemband is aan een van de bekervormige kraakbeenderen vastgehecht,

zoodat, naarmate de kraakbeenderen door de spieren meer of minder naar elkander toe- of afgevoerd worden, de stembanden meer of minder worden gespannen, en de stemspleet grooter of kleiner wordt. De stembanden zelve bestaan uit een zeer veerkrachtig weefsel.

Boven de randen van de stemspleet zijn twee zaksgewijze holten, de eene ter regter, de andere ter linker zijde, die zich 8 tot 9 lijnen ter zijde uitstrekken en eene hoogte van 5 tot 6 lijnen bezitten: dit zijn de *boezems van* MORGAGNI. De bovenste randen van deze boezems stellen als het ware eene tweede stemspleet daar, die 5 tot 6 lijnen boven de andere gelegen is. De bovenste stemspleet kan gesloten worden door het *strotklepje*, hetwelk een bijna driehoekig vlies of veeleer een kraakbeen is; deze strotklep is van voren met eene zijner zijden våstgegroeid, en dient, om, wanneer zij de stemspleet sluit,

Fig. 231.



Fig. 232.



Fig. 233.



Fig. 234.



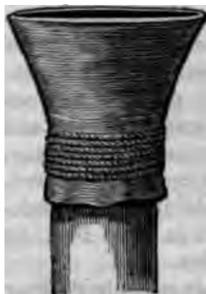
te verhinderen, dat er spijzen en dranken in de luchtpijp geraken, daar deze dan over het strotklepje heen in den slokdarm glijden.

De bouw van het strottenhoofd moge door de nevenstaande figuren duidelijker worden. In Fig. 231 wordt het van voren voorgesteld, in Fig. 232 van ter zijde, in Fig. 234 van achter, en in Fig. 233 van boven, met weglating der spieren welke de kraakbeenderen bewegen, en daardoor de stembanden spannen. In al deze afbeeldingen is het ringkraakbeen aangeduid door *a*, het schildkraakbeen door *b*, de bekervormige kraakbeenderen door *c*, de strotklep door *d*. In de afbeeldingen is de strotklep, ten einde alles duidelijker te doen zien, omhoog gerigt voorgesteld. In Fig. 233 ziet men de stemspleet, die gevormd wordt door de tusschen het schildkraakbeen en de bekervormige kraakbeenderen gespannen onderste stembanden; en in dezelfde Fig. ziet men ook de bovenste stembanden, benevens de tusschen hen en de onderste stembanden gelegene boezems van MORGAGNI.

De vorming van toonen in het strottenhoofd komt geheel overeen met de vorming van toonen in tongpijpen. Een tongwerk berust daarop, dat een ligchaam, hetwelk op zich zelf, in beweging gebragt zijnde, of in het geheele geene, of ten minste slechts zwakke toonen voortbrengt, door den voortdurenden stoot van de lucht eenen toon verwekt, die aan zijne lengte en veerkracht beantwoordt. In het strottenhoofd worden de toonen voortgebragt door de trillingen der stembanden, door welke de stemspleet, in spoedig op elkander volgende keeren, vernaauwd en weder verwijd wordt. Men kan zich hiervan door den volgenden, op de wijze van een strottenhoofd vervaardigden toestel overtuigen.

Uit eene zeer dunne plaat van caoutchouc, snijde men een stuk van ongeveer 1¼ duim lang, hetwelk zoo breed is, dat het om eene glazen buis van ongeveer 6 tot 7 lijnen diameter past; men legt nu dit stuk caoutchouc zoodanig om den glazen cilinder, dat de eene helft op het glas ligt en de andere helft daar boven uitsteekt; zoo men voorts de versche randen der caoutchouc-plaat, welke elkander raken, vast tegen elkander aandrukt, dan kleven zij aan elkander, en men verkrijgt dan eenen cilinder van caoutchouc, van welken de eene helft boven den glazen cilinder uitsteekt; men bindt dezen cilinder van caoutchouc op het glas vast, zoo als men in Fig. 235 ziet. Indien men nu de buis van caoutchouc aan haar boveneinde op twee tegenover elkander gelegene punten vat, en deze sterk van elkander trekt, dan wordt er eene spleet gevormd, zoo als in Fig. 235 is voorgesteld, van welke de randen van caoutchouc zijn, en zoo men dan van onder in de buis blaast,

Fig. 235.



dan verkrijgt men eenen toon, die des te hooger wordt, hoe sterker de beide randen gespannen worden. Daarbij kan men zeer duidelijk de trillingen zien der beide randen van het caoutchouc, waaruit de spleet wordt gevormd.

De hoogte en laagte der toonen van het strottenhoofd, is eveneens afhankelijk van de spanning der stembanden.

109 Het *gehoor-orgaan* bestaat uit drie voorname gedeelten, het *uitwendige oor*, hetwelk gevormd wordt door de oorschelp en den gehoorgang, de *trommelholte*, die door het trommelvlies van het inwendige oor is afgescheiden, en het *doolhof*. Het laatste bestaat uit beenachtige holten, die gevuld zijn met eene vloeistof, waarin de gehoorzenuw zich verbreidt. Ten einde op deze zenuw te kunnen inwerken, moeten de geluidgolven medegedeeld worden aan de vloeistof, die in het labyrinth door beenige wanden is omgeven; dit geschiedt door middel van twee openingen in het labyrinth, die in de trommelholte voeren, namelijk het eironde en het ronde venster; over het ronde venster is een dun vliesje gespannen, en in het eironde venster is, door middel van eene vliezige plooi, een beentje bevestigd, hetwelk de stijgbeugel genoemd wordt, en waarover wij beneden zullen handelen.

In Fig. 136 wordt het labyrinth, sterk vergroot en ten deele geopend, voorgesteld. Het bestaat uit drie voorname gedeelten, het *slakkenhuis*, het *voorhof* en de *half-cirkel-cirkelvormige kanalen*. De gehoorzenuw verbreidt zich gedeeltelijk in het voorhof, waar zij zich legt op de ampullae (buizen die in de half cirkelvormige kanalen gelegen, en met eene bijzondere vloeistof gevuld zijn), maar grootendeels met zeer fijne vertakkingen in het slakkenhuis zich verbreidt. De afzonderlijke omwindingen van het slakkenhuis zijn namelijk in twee deelen verdeeld door eenen dunnen beenachtigen met deze omwindingen paralel verloopenden wand. Deze wand is zeer poreus en celachtig, en in deze cellen verspreiden zich de laatste vertakkingen van de gehoorzenuw, gelijk men zulks in onze Fig. op het geopende gedeelte van het slakkenhuis ziet.

Fig. 136.



Naar het labyrinth worden nu de geluidgolven geleid door

de kleine beentjes in de trommelholte; deze beentjes zijn de *hamer*, die met zijn handvat bevestigd is aan de inwendige oppervlakte van het trommelvlies; aan den hamer is het *aambeeld* bevestigd; en hiermede hangt, door middel van het *linsvormige beentje* van SILVIUS, de *stijgbeugel* zamen. Van dezen laatsten past de trede juist in het eironde venster.

In Fig. 237, in welke vooral het labyrinth sterk ver-

Fig. 237.



groot is voorgesteld, kan men ten naastenbij de wederkeerige ligging van al deze deelen zien: *a* is de gehoorweg, welke de geluidgolven van de oorschelp naar het trommelvlies voert. Door het trommelvlies is de trommelholte van den gehoorgang gescheiden. — Door middel van de *buis van* EUSTACHIUS *b*, staat de trommelholte in verband met de mondholte, zoodat de lucht in de trommelholte zich steeds in evenwigt kan stellen met de buitenlucht. *d* is de hamer, die van den eenen kant aan het trommelvlies is bevestigd, doch met het andere uiteinde aan het aanbeeld *e*. *f* is de stijgbeugel, die, gelijk men ziet, het eironde venster sluit. *o* is het ronde venster. *n* is de gehoorzenuw, die zich in het labyrinth verbreidt.

De afzonderlijke deelen van het gehoororgaan liggen niet zoo volkomen vrij, als zulks uit Fig. 237 zou kunnen schijnen; want daar is het beenachtige omkleedsel, hetwelk al die deelen omgeeft, tot meerdere duidelijkheid weggelaten. De gehoorweg

zelf gaat door het slaapbeen heen, de trommelholte is rondom door beenige wanden omgeven, en het labyrinth is eveneens zoo volkomen gesloten, en in een been, hetwelk wegens zijne hardheid den naam draagt van rotsbeen, bevat, dat het slechts moeijelijk kan worden blootgelegd. Ten einde eene juiste voorstelling te geven, hoe de afzonderlijke deelen van het gehoororgaan in de been-massa zijn besloten, is in Fig. 238 eene wezenlijke anotomische doorsnede van hetzelve, in de natuurlijke grootte, afgebeeld. *a* is de doorsnede van het slakkenhuis, *b* een van de half-cirkelvormige kanalen, *n* de gehoorzenuw, *i* het trommelvlies; en voorts zijn in Fig. 238 de hamer, het aambeeld en de stijgbeugel duidelijk zigtbaar.

Fig. 238.



De oorschelp dient, om de geluidgolven op te nemen, en door den gehoorweg naar het trommelvlies te voeren; daardoor nu wordt het trommelvlies in trillingen gebragt, welke trillingen door de gehoorbeentjes en door de lucht in de trommelholte naar het labyrinth geleid worden. Door de spier *t* kan het trommelvlies meer of minder worden gespannen en naar binnen getrokken, en door de spier *s* kan de stijgbeugel worden bewogen, maar daardoor kan natuurlijk ook de kracht, met welke het geluid wordt medegedeeld, eene wijziging ondergaan.

Het voornaamste gedeelte van het gehoororgaan is de *gehoorzenuw;* het is daarom dat het trommelvlies gekwetst en het verband van de gehoorbeentjes kan opgeheven worden, zonder dat het gehoor geheel ophoudt; ja bij vele dieren, zoo als bij de kreeften, bestaat het gehoororgaan enkel uit een met vocht gevuld blaasje waarop zich de gehoorzenuw verspreidt.

VIJFDE AFDEELING.

OVER HET LICHT.

Inleiding.

De dagelijksche waarneming leert ons, dat een *lichtgevend punt* 110
zijn licht naar alle zijden verspreidt; eene brandende kaars b. v. zou zigtbaar zijn van al de punten der oppervlakte van eenen kogel, in wiens middelpunt zij zich bevond; ook is dit het geval met een phosphorescerend ligchaam, eene electrische vonk enz. — Wat zich in het klein bij onze gewone gewaarwordingen voordoet, grijpt eveneens plaats in de onmetelijke ruimte des hemels. De zon verspreidt hare stralen naar alle kanten in de ruimte, haar licht valt gelijktijdig op de aarde zoowel als op de overige planeten, de kometen, en alle ligchamen van het uitspansel, welke plaats zij ook aan het oneindige hemelrond mogen innemen.

Alle lichtgevende ligchamen bestaan wezenlijk uit weegbare stof; door de *ledige ruimte* kan het licht wel worden voortgeplant, maar niet oorspronkelijk worden voortgebragt. Alle lichtgevende ligchamen nu kan men in steeds kleinere en kleinere deeltjes verdeelen, en de laatste nog physisch waarneembare deeltjes noemt men *lichtgevende punten*. Gelijk derhalve elk ligchaam eene vereeniging is van moleculen of atomen, zoo is een lichtgevend ligchaam eene vereeniging van lichtgevende punten.

Al de ligchamen, welke niet zelflichtgevend zijn, verdeelt men 111
in *ondoorschijnende ligchamen*, zoo als hout, steenen en metalen; *doorzigtige*, zoo als lucht, water en glas, en *doorschijnende*, zoo als dun papier en mat geslepen glas.

Bij de *ondoorschijnende* ligchamen kan het licht niet door de massa derzelve heen dringen; doch de ondoorschijnendheid is altijd afhankelijk van de dikte der ligchamen, want alle ligchamen laten, wanneer men ze slechts dun genoeg kan maken, altijd een weinig licht door: b. v. door een dun goudplaatje, op glas geplakt, neemt men een blaauwachtig groen licht waar, zoo men door hetzelve naar het licht eener kaars of naar den hemel ziet.

Doorzigtige ligchamen laten het licht vrij door, en men kan door dezelve heen de gedaante der voorwerpen onderscheiden. De gaz-soorten, de vochten, en de meeste gekristalliseerde ligchamen schijnen, in kleine hoeveelheden, volkomen doorzigtig te zijn; want zij doen zich dan geheel ongekleurd voor, en men kan door dezelve niet alleen den vorm, maar ook de

kleur der ligchamen duidelijk waarnemen. De doorzigtigste ligchamen evenwel, doen zich gekleurd voor, wanneer zij eene genoegzame dikte bezitten, — een bewijs, dat zij een gedeelte van het licht opslorpen. Een droppel water b. v. is volkomen kleurloos, terwijl het water in massa eene duidelijk groene kleur bezit.

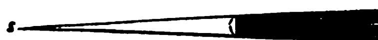
De *doorschijnende* ligchamen laten wel is waar eenig licht door, doch zonder dat men door dezelve heen de gedaante of de kleur der voorwerpen kan herkennen.

Zoolang een lichtstraal in dezelfde middelstof blijft, plant hij zich in eene regte lijn voort; maar wanneer hij een ander ligchaam ontmoet, dan wordt hij aan de oppervlakte daarvan *teruggekaatst*, gereflecteerd, maar gedeeltelijk dringt hij, zoo dit ligchaam doorzigtig is, *met veranderde rigting* in hetzelve, hij wordt *gebroken*. Wij zullen later de wetten van de terugkaatsing en breking van het licht nader beschouwen.

De snelheid, waarmede het licht zich voortplant, is zoo groot, dat het iederen afstand op de aarde in eenen onmeetbaar kleinen tijd doorloopt. Uit de waarneming van de verduisteringen der trawanten van Jupiter, hebben de sterrekundigen berekend, dat het licht zich zoo snel voortplant, dat het den weg van de zon tot aan de aarde in 8 minuten en 13 seconden, derhalve 42000 mijlen in de seconde, aflegt. Een kanonskogel, die 1200 voet in de seconde aflegt, zou, om van de zon tot aan de aarde te komen, ongeveer 14 jaren noodig hebben.

112 **Schaduwen en halve schaduwen.** Door de regtlijnige voortplanting van het licht komt het, dat een donker, aan het licht bloot gesteld ligchaam eene schaduw werpt, en zoo dit slechts uit een enkel lichtgevend punt verlicht wordt, kan men de schaduw gemakkelijk bepalen. Al de lijnen, die, van het lichtgevende punt uitgaande, op het donkere ligchaam vallen, vormen gezamenlijk eene kegelvormige oppervlakte, terwijl dat gedeelte dier oppervlakte, hetwelk aan de tegenovergestelde zijde van het donkere ligchaam gelegen is, den grens van de schaduw daarstelt.

Fig. 239.



Zoo het lichtgevende ligchaam eene eenigzins aanmerkelijke uitgebreidheid bezit, moet men, behalve de *schaduw*, ook nog de *halve schaduw* onderscheiden. De schaduw, die in dit geval ook *kern schaduw* genoemd wordt, is de ruimte welke volstrekt geen licht ontvangt, terwijl de halve schaduw daarentegen voorkomt op al die plaatsen, die van eenige punten des lichtgevenden ligchaams licht ontvangen, doch van de andere niet. In Fig. 240 zij b. v. *A* een groote lichtgevende kogel, *B* eene kleinere ondoorschijnende kogel. Hoe ver zich de kernschaduw, en hoe ver zich de halve schaduw uitstrekken, is uit de Fig. duidelijk te zien. Door een scherm in *m n* opgevangen zijnde, zou de schaduw zich voordoen als in Fig. 241. De diameter van de kernschaduw

vermindert met den afstand van het lichtgevende punt, waarbij de diameter van de halve schaduw vermeerdert. Digt bij het scha-

Fig. 240.

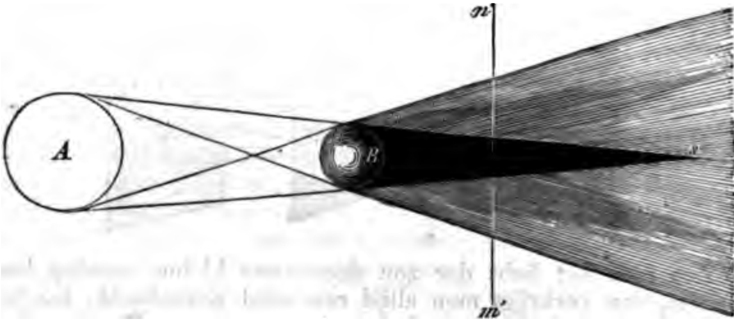


Fig. 241.



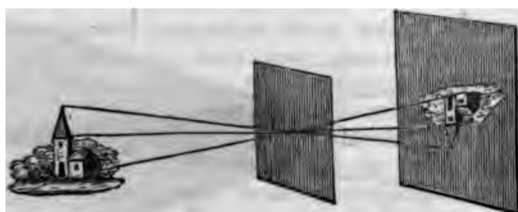
duwgevende ligchaam is daarom de kernschaduw slechts door een smalle halve schaduw omgeven; digt achter het ligchaam, hetwelk de schaduw voortbrengt, is zij daarom vrij scherp begrensd; op grooteren afstand is de breedte van de halve schaduw veel grooter, de overgang van de kernschaduw tot het volle licht grijpt daarom langzamer plaats, de schaduw doet zich niet meer scherp voor, maar onduidelijk begrensd. Aan gene zijde van het punt *s* houdt de kernschaduw geheel op, en de halve schaduw, die steeds meer in de breedte toeneemt, wordt daarom ook steeds onduidelijker en zwakker.

Op deze wijze laat het zich verklaren, dat de schaduw van een aan het zonnelicht blootgesteld ligchaam, digt achter dit ligchaam opgevangen, scherp begrensd is, maar dat zij daarentegen op grooteren afstand geheel onbepaald is. Zoo kan men b. v. niet met juistheid het punt aangeven, waar de schaduw van eene torenspits op den bodem ophoudt. Een haar, in het zonnelicht digt boven een blad papier gehouden, werpt eene scherpe schaduw, doch zoo men het slechts 2 duimen hoog boven het papier houdt, dan is er naauwelijks nog eene schaduw waar te nemen.

Zoo men het, van een lichtgevend punt afkomstige, licht opvangt op een scherm, waarin men eene kleine opening gemaakt heeft, dan zal het licht, hetwelk door die opening heen gaat, eenen scherp begrensden lichtstraal daarstellen; zoo men dezen straal opvangt op een tweede scherm, dan verkrijgt men eene heldere vlek op eenen donkeren grond. Op deze wijze krijgt men in eene geheel donkere kamer, op den wand tegenover eene kleine opening in het venster, een beeld van elk buiten de kamer aanwezig lichtgevend punt, hetwelk licht-

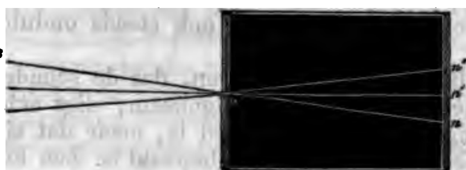
stralen door deze opening in de kamer zendt, en hierdoor ontstaan er op den wand omgekeerde beelden der buiten aanwezige voorwerpen, zoo als in Fig. 242.

Fig. 242.



Zoo men het licht der zon door eene kleine opening laat vallen, dan verkrijgt men altijd een rond zonnebeeld, hoedanig ook de gedaante van de opening zijn moge. Deze, op het eerste gezigt wonderlijke, daadzaak laat zich zeer eenvoudig verklaren. Immers zoo de zon een enkel lichtgevend punt ware, dan zou er op den wand tegenover de opening eene heldere vlek gevormd worden, die naauwkeurig de gedaante der opening had. Stellen wij, dat de opening *o*, Fig. 243, vierhoekig zij, dan zal het licht, hetwelk van het hoogste punt der zonneschijf uitgaat, op het scherm vallen in de rigting *s o n*, en er zal bij *n* een kleine vierhoekige vlek ontstaan.

Fig. 243.





Het laagste punt van de zon brengt een vierhoekig beeld voort bij *n''*; terwijl het middelste punt van de zonneschijf de vierhoekige vlek *n'* voortbrengt. Het beeldje *l* is afkomstig van het buitenste punt aan den regter, het beeldje *r* van het buitenste punt van den linker rand der zonneschijf. Al de overige punten van den rand der zon stellen vierhoekige beelden daar, die in den omtrek van den kring *l n'' r n* vallen, terwijl de overige punten van de zon het binnen dezen kring gelegene verlichten; al de afzonderlijke vierhoekige heldere beeldjes te zamen, stellen bij gevolg eene kringvormige heldere vlek daar.

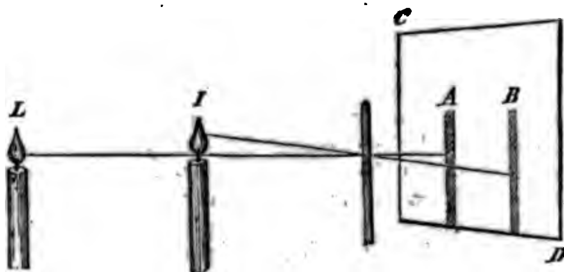
113 **De intensiteit van het licht vermindert in omgekeerde verhouding van het vierkant van den afstand.** Zoo wij ons een lichtgevend punt denken in het midden van eenen hollen kogel, dan zal deszelfs

oppervlakte al het van dat punt uitgaande licht opvangen. Indien hetzelfde lichtgevende punt zich bevond in het midden van eenen hollen kogel van eenen 2 of 3 maal grooteren diameter, dan zouden ook de oppervlakten van deze grootere kogels al het licht, van het lichtgevende punt uitstroomende, opvangen. Nu leert ons evenwel de geometrie, dat de oppervlakten der kogels zich verhouden, als de vierkanten van hunnen diameter; en wanneer dan de diameters der kogels zich tot elkander verhouden als 1: 2: 3, dan verhouden zich hunne oppervlakten als 1 : 4 : 9. Indien derhalve hetzelfde lichtgevende punt zich bevindt in het midden eens kogels van eenen 2 of 3 maal grooteren diameter, dan moet dezelfde hoeveelheid licht zich verspreiden over eene 4 maal of 9 maal grootere oppervlakte, de intensiteit der verlichting moet derhalve 4 maal of 9 maal zwakker zijn, zoo de verlichte oppervlakten zich op eenen 2 maal of 3 maal grooteren afstand van het lichtgevende punt bevinden, of in het algemeen: *de intensiteit der verlichting vermindert in dezelfde rede, waarin het vierkant van den afstand toeneemt.*

Deze stelling is niet streng toe te passen op een lichtgevend ligchaam van aanmerkelijke oppervlakte, welks licht op eenen geringen afstand wordt opgevangen.

Hierop grondt zich de vergelijking der sterkte van het licht van verschillende lichtbronnen. In Fig. 244 zij *C D* een witte wand.

Fig. 244.



Digt vóór denzelven zij een ondoorschijnend staafje, eenigzins dikker dan een potlood, geplaatst. Indien er zich nu een licht in *I*, een ander in *L* bevindt, dan zullen er op den wand twee schaduwen van het staafje ontstaan, van welke de eene in *A*, en de andere in *B* is gelegen. Dat gedeelte van den wand waarop zich geen schaduw bevindt, wordt door beide lichten beschenen, en de schaduw *A* wordt alleen door het licht *L*, *B* enkel door *I* verlicht. Zoo nu de beide lichtbronnen volkomen aan elkander gelijk zijn, dan zullen de beide schaduwen even donker zijn, ingevalle namelijk de beide lichten zich op eenen gelijken afstand bevinden. Indien evenwel bij gelijken afstand de lichtbron *L* sterker licht geeft, dan zal de schaduw *A* zich helderder voordoen dan *B*; en om de beide schaduwen

weder gelijk te maken, zou men L op verderen afstand van het scherm moeten plaatsen. Stellen wij, dat L inderdaad zoo verre naar achter verplaatst is, dat beide schaduwen weder gelijk zijn, dan verhoudt zich de lichtsterkte der beide lichten evenredig aan het vierkant van hunnen afstand van het scherm; en indien L 2 maal of 3 maal verder van het scherm verwijderd ware dan I, dan zou de intensiteit der lichtbron L 4 of 9 maal grooter zijn dan die van I.

EERSTE HOOFDSTUK.

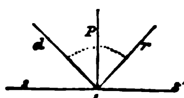
Terugkaatsing van het licht.

114 **Terugkaatsing van het licht door middel van gladde oppervlakten.** Zoo men in eene donkere kamer eenen zonnenstraal op eene gepolijste metalen oppervlakte laat vallen, dan neemt men de navolgende twee verschijnselen waar: 1°. Men bemerkt in eene bepaalde rigting eenen straal, die van den spiegel afkomstig schijnt te zijn, en op de voorwerpen, op welke hij valt, even zoo een klein zonnebeeldje daarstelt, als wanneer de regelregt invallende zonnestraal deze plaats getroffen had; zoodanige stralen zijn *regelmatig teruggekaatst*, en hunne lichtsterkte is des te aanmerkelijker, hoe beter de spiegel gepolijst is. 2°. Van onderscheidene plaatsen der donkere kamer kan men dat gedeelte van den spiegel onderscheiden, waar de zonnestraal op denzelven is gevallen; dit komt daardoor, dat op de bedoelde plaats van den spiegel een gedeelte van het invallende licht *onregelmatig teruggekaatst* wordt, d. i. dat het naar alle kanten verspreid wordt. De intensiteit van het verstrooide licht is des te grooter, hoe minder goed de spiegel gepolijst is.

Zoo er volstrekt gladde spiegelende oppervlakten bestonden, dan zouden wij ze volstrekt niet met onze oogen kunnen waarnemen, want de ligchamen zijn alleen in de verte waarneembaar door de stralen, die aan hunne oppervlakte verstrooid worden. De regelmatig teruggekaatste stralen vertoonen ons het beeld van het lichtgevende punt, van hetwelk zij zijn uitgegaan, maar geenszins het terugkaatsende ligchaam. Bij eenen zeer goeden spiegel bemerken wij ter naauwernood de spiegelende oppervlakte, welke zich tusschen ons en de beelden, die terug gekaatst worden, bevindt.

Wij willen nu de rigting van de regelmatig teruggekaatste stralen nader bepalen. In Fig. 245 zij $r\ i$ de rigting van den invallenden straal, en $i\ p$ eene op de oppervlakte van den spiegel getrokken loodlijn, dan wordt de straal zoodanig in de rigting $i\ d$ teruggekaatst, dat de *hoek van terugkaatsing* d

Fig. 245.



i p gelijk is aan den *hoek van inval r i p;* de straal maakt dus, vóór en na de terugkaatsing, denzelfden hoek met de loodlijn; terwijl voorts nog de invallende straal, de loodlijn en de teruggekaatste straal *in hetzelfde vlak* gelegen zijn.

Met behulp van deze grondstelling kan men gemakkelijk bewijzen, dat een vlakke spiegel de beelden van voorwerpen, die zich voor zijne oppervlakte bevinden, moet vertoonen; en dat het beeld en het voorwerp, met betrekking tot de spiegelende oppervlakte, *symmetrisch* zijn.

In Fig. 246 zij *m' m* een vlakke spiegel, *l* een lichtgevend punt voor denzelven, hetwelk eenen straal *l i* naar den spiegel geeft.

Fig. 246.



Deze straal wordt nu, volgens de bekende wetten, teruggekaatst in de rigting *i c;* en wanneer de teruggekaatste straal het oog treft, dan maakt hij daarop denzelfden indruk, als of hij kwame van een punt achter den spiegel, hetwelk in de verlenging van *c i* gelegen is, en welks afstand van het oog even zoo groot is als de weg, welken de straal wezenlijk moet poorloopen, om van *l* naar *i*, en van daar naar het oog te komen; men vindt derhalve het punt *l'*, zoo men op de verlenging van *c i* den afstand *i l'* gelijk *i l* maakt. Indien men *l* en *l'* vereenigt door middel van eene regte lijn, dan kan men gemakkelijk bewijzen, dat de driehoeken *l i k* en *l' i k* aan elkander gelijk zijn, en daaruit volgt dan verder, dat *l l'* regthoekig staat op *m m'*, en dat *l k* = *l' k* is. *Ten einde dus het beeld van een lichtgevend punt in eenen vlakken spiegel te vinden, behoeft men slechts uit het lichtgevende punt eene loodlijn op den spiegel of deszelfs verlenging te trekken, en deze achter de spiegelende oppervlakte even zoo ver te verlengen, als het lichtgevende punt voor den spiegel ligt.*

Naardien dit nu geldt voor ieder punt van een ligchaam, hetwelk licht uitstraalt, hetzij eigen of verstrooid licht, kan men ook gemakkelijk het beeld van een voorwerp construeren. In Fig. 247 zij *V W* een vlakke spiegel, *A B* eene pijl, die zich vóór denzelven bevindt. Men vindt het beeld van de punt, zoo men uit *A* eene loodlijn *A k* op de oppervlakte van den spiegel trekt, en het verlengde *a k* van dezelve gelijk *A k* maakt; al de van *A* uitgaande stralen schijnen na de terugkaatsing te divergeren, alsof zij van *a* kwamen; en dus is *a* het beeld van *A*. Op dezelfde wijze blijkt, dat *b* het beeld is van *B*; en uit de figuur blijkt duidelijk genoeg, dat het beeld en het voorwerp in betrekking tot het spiegelende vlak symmetrisch zijn.

De rigting van het teruggekaatste licht kan derhalve met

Fig. 247.

wiskundige zekerheid bepaald worden, hetgeen echter niet het geval is ten opzigte der teruggekaatste stralen. Over het algemeen geldt hierbij het volgende:

1°. De intensiteit van het regelmatig teruggekaatste licht vermeerdert met den hoek van inval, zonder evenwel bij regthoekigen inval nul te zijn.

2°. Zij is afhankelijk van de middelstof, in welke het licht zich beweegt, en waarop hetzelve valt.

Wij willen slechts eenige voorbeelden opgeven, om dit duidelijker te maken.

Indien de stralen, welke van het licht eener kaars uitgaan, ten naastenbij regthoekig op eene mat geslepen glazen plaat vallen, dan kan men geen beeld van de vlam onderscheiden; hetwelk men echter zeer goed ziet, zoo de stralen zeer schuins op de plaat vallen; — in dat geval kan men het beeld ook waarnemen op gepolijst hout, glinsterend gekleurd papier enz.; daaruit blijkt, dat de hoeveelheid teruggekaatst licht des te grooter is, hoe meer de stralen in eene schuinsche rigting vallen.

115 **Hoekspiegels.** Indien twee spiegels onder eenen zekeren hoek met elkander geplaatst worden, dan ziet men van een tusschen dezelve geplaatst voorwerp onderscheidene beelden, wier aantal afhankelijk is van den hoek, dien de spiegels maken. In Fig. 248 zijn *V W* en *Z W* twee, onder eenen regten hoek met

Fig. 248.

elkander geplaatste, vlakke spiegels, *A* een lichtgevend punt,

hetwelk zich in den door den spiegel gevormden hoek bevindt. Vooreerst zal men in iederen spiegel een beeld van *A* zien, en wel voor den eenen spiegel in *a*, voor den anderen in *a'*. Het oog, in *O* geplaatst, ziet dus, behalve het voorwerp *A* zelf, ten gevolge van eene enkele terugkaatsing ook nog de beelden *a* en *a'* van hetzelve. Nu kunnen echter die stralen, die door den eenen spiegel zijn teruggekaatst, den tweeden treffen en op dezen eene tweede terugkaatsing ondergaan. Naardien al de door den eersten spiegel teruggekaatste stralen zoodanig divergeren, alsof ze van *a* kwamen, is *a* in zeker opzigt zelf een voorwerp, hetwelk stralen werpt op den spiegel *Z W*, en men kan diensvolgens gemakkelijk het beeld van het beeld *a* in den spiegel *Z W* vinden. Daartoe trekke men slechts eene loodlijn op het verlengde van *Z W* en verlenge haar op de bekende wijze, dan verkrijgt men het beeld *a"*, van hetwelk al de stralen schijnen uit te gaan, die door den spiegel *V W* op den spiegel *Z W* teruggekaatst worden, en op dezen nogmaals eene terugkaatsing ondergaan; zoo ziet het oog in *O*, na eene tweemaal herhaalde terugkaatsing, nog een beeld in *a"*.

Het beeld in *a'* is echter ook een voorwerp van den spiegel *V W*, en wanneer men de plaats van het beeld van *a'* bepaalt, dan vindt men, dat dit eveneens *a"* is, d. i. dat al de van *Z W* op den spiegel *W V* geworpene stralen, na de tweede terugkaatsing zoodanig divergeren, alsof ze van *a"* kwamen.

De ten tweeden male teruggekaatste stralen treffen geene der beide spiegels meer, of, met andere woorden: van het beeld *a"* is verder geen beeld zigtbaar; in ons geval ziet men dus, behalve het voorwerp *A*, nog drie beelden van hetzelve.

Indien de spiegels met elkander eenen hoek van 60°, 45°, 36° enz. maakten, d. i. indien de hoek, dien zij maken, $\frac{1}{6}$, $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{10}$ van den geheelen omtrek bedroeg, dan zou men, het voorwerp zelf medegerekend, 6, 8, 10 enz. beelden zien.

Op dit beginsel berust de inrigting van den *kaleidoskoop*. Gelijk men ziet, vermeerdert het aantal beelden, wanneer de hoek kleiner wordt; hun aantal wordt oneindig groot, wanneer de hoek der spiegels nul is, d. i. wanneer de spiegels evenwijdig aan elkander zijn.

Terugkaatsing door middel van uitgeholde spiegels. Indien een 116
lichtstraal op eenig punt van eene holle oppervlakte valt, dan wordt hij juist zoodanig teruggekaatst, alsof hij de aanrakings-vlakte van dit punt getroffen had. Een lichtgevend punt derhalve, het welk zich in het middelpunt van eenen van binnen gepolijsten kogel bevindt, zal naar alle punten der oppervlakte van den kogel lichtstralen uitzenden, welke evenwel allen weder naar het middelpunt worden teruggekaatst.

Men denke zich eenen hollen kogel, wiens inwendige oppervlakte goed gepolijst is, dan is een stuk, hetwelk door een plat vlak daarvan kan worden afgesneden, een *bolvormige holle*

spiegel. Een *bolvormige bolle spiegel* daarentegen is een dergelijk stuk van eenen van buiten gepolijsten kogel.

De *diameter* van eenen hollen spiegel is de lijn *m m'* Fig. 249, door welke twee tegenovergestelde punten van den rand vereenigd worden; de lijn *c a*, die het middelpunt van den kogel met het middelpunt van den spiegel vereenigt, heet zijne *as;* en de hoek eindelijk, welken de lijnen *c m* en *c m'* met elkander maken, noemt men zijne *opening*. Het middelpunt *c* van den kogel, van welken de spiegel een stuk is, wordt het *middelpunt van kromming* genoemd.

Fig. 249.



117 **Over de bolvormige holle spiegels.** In Fig. 250 zij *A B* de doorsnede van eenen bolvormigen hollen spiegel, wiens middelpunt *m* is. In *a* zij een lichtgevend punt, hetwelk zijne stralen op den spiegel werpt. Indien men uit het lichtgevende punt *a* eene regte lijn, *a m d*, door het middelpunt van den kogel tot aan den spiegel trekt, dan is deze lijn de as van den kegel van lichtstralen, die door den spiegel wordt teruggekaatst. Op hoedanige wijze een straal *a b* van dezen lichtkegel door den spiegel wordt teruggekaatst, is gemakkelijk te vinden; want de regte lijn, die uit *b* naar *m* getrokken wordt, is de loodlijn. Zoo men nu $W i = W i'$ maakt, dan is *b c* de teruggekaatste straal.

Fig. 250.



Indien men zich op den spiegel eenen cirkel geteekend denkt, wiens punten allen even ver verwijderd zijn van *d* als van *b*, dan kan men ligt begrijpen, dat al de stralen, die, van *a* uitgaande, den spiegel op eenig punt van dezen kring treffen, zoodanig worden teruggekaatst, dat zij de as *a d* in hetzelfde punt snijden.

Zoo het lichtgevende punt *zeer* ver van den spiegel verwijderd is, dan kan men al de stralen, welke het op den spiegel werpt, als aan elkander evenwijdig beschouwen. Laat ons in dit geval de ligging van het punt *c* bepalen. In Fig. 251 zij *a b* een paralel met de as verloopende lichtstraal, *b m* de loodlijn, dan is natuurlijk $i = x$. Wanneer nu de hoeken *i* en *x* zeer klein zijn, dan is driehoek *b c m* zoo klein, dat de som der zijden *b c* en *c m* niet merkelijk grooter is dan de straal *b*

Fig. 251.



m, en daar *b c* = *c m* is, zoo is *c m* ten naastenbij volkomen gelijk ½ *b m*, d. i. ten naastenbij gelijk aan den halven straal; men kan dus zonder merkbare fout aannemen, dat al de paralel met de as invallende stralen, welke den spiegel op zoodanige punten *b* treffen, dat de boog *b d* slechts eenen kleinen hoek overspant, vereenigd worden in een punt van de as, hetwelk in het midden tusschen het middelpunt van dezen spiegel en den spiegel zelven ligt. Die stralen, welke zoo nabij de as gelegen zijn, dat de waarde van *m c* voor dezelve niet merkbaar verschilt van ½ *m b*, heeten *centrale stralen*. Het punt van vereeniging der paralel met de as invallende centrale stralen, heet *hoofd-brandpunt*, of *hoofd-focus* (en zal in de volgende figuren door *F* worden aangeduid). *Dit hoofd-brandpunt* is, gelijk wij gezien hebben, *gelegen in het midden tusschen het centrum van den spiegel en den spiegel zelven*, *op de as der evenwijdig loopende stralen.*

Fig. 252.

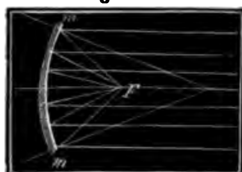
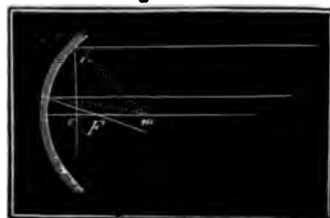


Fig. 253.



Hoe meer *i* toeneemt, d. i. op hoe grooteren afstand van de as, de stralen op den spiegel vallen, hoe grooter de kromming des spiegels, van het punt van inval tot aan het midden van den spiegel, is, des te meer nadert het punt *c*, in hetwelk de teruggekaatste stralen de as snijden, naar den spiegel. Het vereenigingspunt van niet centrale stralen ligt derhalve nader bij den spiegel zelven dan het hoofd-brandpunt, gelijk men zulks ook uit Fig. 253 kan zien.

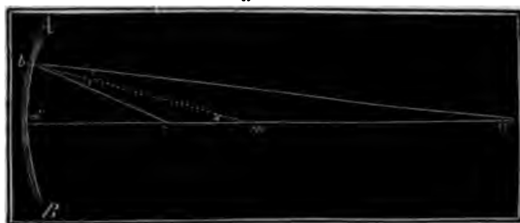
Zoo een holle spiegel bruikbaar zal zijn voor optisch gebruik, dan moet hij de van een punt uitgaande stralen ook zoo nabij elkander mogelijk weder in een punt vereenigen. Dit is evenwel alleen dan mogelijk, wanneer de opening van den spiegel niet aanmerkelijk, hoogstens 8 à 10° is, want in dit geval kan men al de, op den spiegel vallende, stralen als centrale stralen beschouwen. Wij zullen in het vervolg ook enkel zoodanige spiegels, derhalve ook slechts centrale stralen, beschouwen.

Het boven vermelde gebrek, dat niet al de, met de as evenwijdig invallende, stralen naauwkeurig in een punt vereenigd

worden, wordt de *afwijking wegens bolvormigheid*, *spherische abberratie*, genoemd.

Wanneer het lichtgevende punt niet oneindig ver ligt, maar op zoodanigen afstand, dat men de uiteenwijking der op den spiegel vallende stralen niet meer mag veronachtzamen, dan verandert ook het brandpunt van plaats, en wel verwijdert het zich meer en meer van den spiegel, hoe naderbij het lichtgegevende punt komt. Dat dit zoo zij, is gemakkelijk in Fig. 254

Fig. 254.



te zien. Hoe nader het lichtgevende punt bij den spiegel komt, des te kleiner wordt *i* voor hetzelfde punt *b* van den spiegel, des te kleiner wordt *i'*, en des te meer nadert bijgevolg *c* tot *m*. Zoo men een lichtgevend punt, hetwelk zoo ver van den spiegel verwijderd is, dat zijne stralen weder vereenigd worden in het hoofd-brandpunt, onophoudelijk tot den spiegel doet naderen, dan zal het brandpunt, van het hoofdbrandpunt steeds meer tot het middelpunt naderen, totdat eindelijk, wanneer het lichtgevende punt in het middelpunt van den spiegel staat, het brandpunt zamenvalt met het lichtgevende punt. Zoo het lichtgevende punt nog nader bij den spiegel komt, dan valt het brandpunt steeds verder en verder van den spiegel; en wanneer het lichtgevende punt de plaats van het hoofd-brandpunt inneemt, dan worden zijne stralen door den spiegel evenwijdig met de as terug gekaatst.

In Fig. 255 is nog het eenig overige geval te beschouwen, namelijk dat het lichtende punt *s* tusschen den spiegel en het hoofd-brandpunt gelegen is. Hier worden de stralen zoodanig teruggekaatst, dat zij na de terugkaatsing divergeren, alsof zij kwamen van een punt *v*, dat achter den spiegel gelegen is, en hetwelk men voor ieder bijzonder geval gemakkelijk door constructie kan vinden.

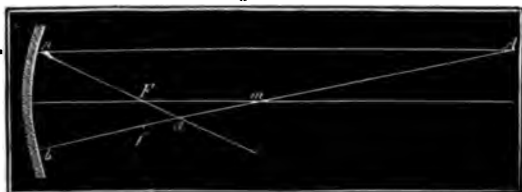
Fig. 255.



Wij hebben tot hiertoe enkel zoodanige lichtgevende punten beschouwd, die op de as van den spiegel lagen, derhalve zulke punten, van welke de as der op den spiegel geworpen stralen zamenviel met de as van den spiegel. Al de tot hiertoe ontwikkelde wetten gelden evenwel ook

voor zoodanige lichtgevende punten, die buiten de as van den spiegel liggen. Zoo zij, b. v. in Fig. 256 *A* een zoodanig licht

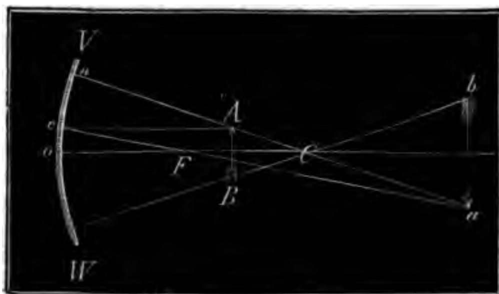
Fig. 256.



gevend punt. Wanneer men uit *A* over *m* eene lijn trekt naar den spiegel, dan is deze de as van den uit *A* op den spiegel geworpenen stralenkegel, en op deze as moeten al de van *A* uitgaande stralen zich weder vereenigen. Indien een geheele bundel stralen evenwijdig met *A m b* op den spiegel viel, dan zouden zij na de terugkaatsing zich vereenigen in het punt *f*, hetwelk in het midden tusschen *m* en *b* ligt; doch dewijl de van *A* uitgaande stralen divergeren, ligt hun vereenigingspunt verder van den spiegel dan *f*. Dit vereenigingspunt nu kan men gemakkelijk door de volgende constructie vinden. Men trekke uit *A* eene lijn *A n* evenwijdig met de as van den spiegel. Een straal, die in deze rigting den spiegel treft, wordt echter, gelijk men weet, teruggekaatst naar het hoofdbrandpunt *F*; en zoo men nu uit *n* eene lijn trekt over *F*, dan zal deze de lijn *A m b* snijden, en het punt van doorsnijding *a* is natuurlijk datgene, in hetwelk al de van *A* uitgaande stralen, na hunne terugkaatsing door den spiegel, weder vereenigd worden, — kortom *a* is het beeld van *A*.

Over de door bolle spiegels voortgebragte beelden. In Fig. 257 stelle 118

Fig. 257.



A B een voorwerp voor, hetwelk zich tusschen het middelpunt van kromming *C* van den spiegel en het hoofdbrandpunt *F* bevindt. Na het boven gezegde, is het gemakkelijk, om het beeld van het punt *A* te vinden, want het ligt op de door *C* en *A* getrokkene lijn, daar immers een straal

A n in de rigting *n A* wordt teruggekaatst. Een uit *A* evenwijdig met de hoofdas op den spiegel vallende straal *A e* wordt echter teruggekaatst naar het hoofdbrandpunt *F.* Doch de in de rigtingen *n A* en *e F* teruggekaatste stralen, snijden elkander in *a*, en hier is het beeld van *A*. Eveneens vindt men het beeld *b* van het punt *B*, en dus blijkt het, *dat men, door middel van eenen hollen spiegel, van een voorwerp A B, tusschen het hoofdbrandpunt en het middelpunt van kromming gelegen, een omgekeerd vergroot beeld aan gene zijde van C verkrijgt.*

Dewijl de van *A* uitgaande stralen in *a* verzameld worden, zullen ook omgekeerd, wanneer *a* een lichtgevend punt is, de van dit punt uitgaande stralen door den spiegel in *A* worden teruggekaatst; kortom *A* is in dit geval het beeld van *a;* en even zoo is *B* het beeld van *b*. *Wanneer zich derhalve een voorwerp a b aan gene zijde van het middelpunt C bevindt, dan zal de holle spiegel daarvan een omgekeerd verkleind beeld tusschen het middelpunt C en het hoofdbrandpunt F daarstellen.*

De beelden, welke wij zoo even beschouwd hebben, zijn wezenlijk verschillend van die der vlakke spiegels. Al de stralen, welke van een lichtgevend punt uitgaan, worden door den vlakken spiegel in eene zoodanige rigting teruggekaatst, alsof zij afkomstig waren van een punt achter den spiegel; zij divergeren derhalve. In de boven behandelde gevallen evenwel, worden de van een punt des voorwerps uitgaande stralen door den spiegel werkelijk weder in een punt verzameld; wij zullen daarom dan ook deze beelden, ter onderscheiding van de anderen, *verzamelingsbeelden* noemen. Deze verzamelingsbeelden kan men opvangen op een scherm van papier of mat geslepen glas, en alzoo een beeld verkrijgen, hetwelk zich juist zoodanig voordoet, als het voorwerp zelf; want de verlichte punten van het scherm, welke door de geconcentreerde stralen sterk verlicht worden, verstrooijen het licht naar alle zijden heen, en bijgevolg wordt het beeld zelfs dan nog zigtbaar, wanneer de door den spiegel teruggekaatste stralen niet regtstreeks in het oog geraken.

Hoe verder het voorwerp zich van den hollen spiegel verwijdert, des te meer moet, gelijk zich laat begrijpen, het beeld naderen tot het hoofdbrandpunt, en het beeld der, om zoo te zeggen, oneindig ver verwijderde zon moet derhalve in het hoofdbrandpunt zelf liggen, wanneer de as van den spiegel naar de zon gerigt is. Indien de zonnestralen schuins op den spiegel vallen, derhalve niet in de rigting der as van den spiegel, dan ligt het beeld natuurlijk niet meer in deze as, maar ter zijde, doch deszelfs afstand van den spiegel is altijd gelijk aan de halve middellijn van kromming des spiegels. Aangezien de zon aan ons verschijnt onder eenen hoek van ongeveer 30′, moet ook het zonnebeeldje, uit *C* gezien, zich onder denzelfden hoek voordoen, terwijl de absolute grootte van hetzelve afhankelijk is van de middellijn van kromming van den spie-

gel. In het brandpunt van den grooten reflector van HERSCHEL b. v., wiens krommingsstraal 50 voet is, heeft het zonnebeeld ongeveer 3 duim diameter; de diameter van het zonnebeeld is ongeveer 3 streep, wanneer de krommingsstraal van den spiegel 1 el is.

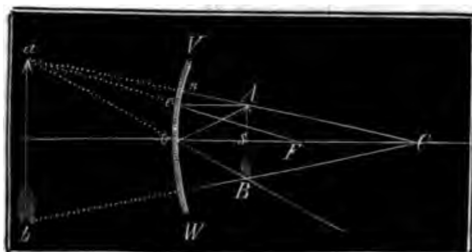
Om den krommingsstraal van eenen hollen spiegel te vinden, behoeft men enkel te meten, hoe ver het zonnebeeldje van den spiegel gelegen is, want deze afstand dubbel genomen, is gelijk aan den krommingsstraal van den spiegel.

De beelden van zoodanige voorwerpen, welke meer dan 100 maal de lengte van den krommingsstraal verwijderd zijn van den spiegel, zijn ook nog zeer digt nabij het brandpunt.

Wij moeten nu nog de plaats nagaan, waar het beeld wordt aangetroffen, ingeval het voorwerp tusschen den spiegel en het brandpunt ligt. Wij hebben gezien, dat al de stralen, welke uitgaan van een lichtgevend punt, hetwelk nader ligt bij den hollen spiegel dan het hoofdbrandpunt, zoodanig worden teruggekaatst, alsof zij uit een punt achter den spiegel voortkwamen; in het hier te beschouwen geval kan er dus natuurlijk geen verzamelingsbeeld ontstaan.

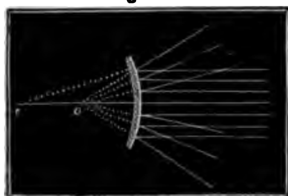
In Fig. 258. zij *A B* het voorwerp, welks beeld wij willen zoeken. De straal *A n*, die regthoekig op den spiegel valt, wordt teruggekaatst in de rigting *n A C*, doch de straal *A e*, welke parallel met de spiegel-as op den spiegel valt, wordt teruggekaatst naar het hoofdbrandpunt *F*. Nu komen echter de stralen *n A C* en *e F* nimmer tot elkander, doch, naar achter verlengd, snijden hunne rigtingen zich achter den spiegel in *a*, en dit punt *a* is het beeld van *A*. Eveneens kan men het beeld *b* van het punt *B* vinden. *Wanneer* derhalve *het voorwerp tusschen het brandpunt en den spiegel gelegen is, dan valt het vergroote regte beeld daarvan achter den spiegel*, het verhoudt zich dus, de vergrooting uitgezonderd, even als de beelden der vlakke spiegels.

Fig. 258.



De bolle spiegels hebben geene werke- 119
lijke, doch slechts denkbeeldige brandpunten, d. i. dat de stralen, welke op dezelve vallen, niet in één punt vereenigd worden, maar na de terugkaatsing zoodanig divergeren, alsof zij van een punt achter den spiegel afkomstig waren. Indien een bolle spiegel getroffen wordt door stralen, welke evenwijdig met de as zijn, dan ligt voor deze het denkbeeldige

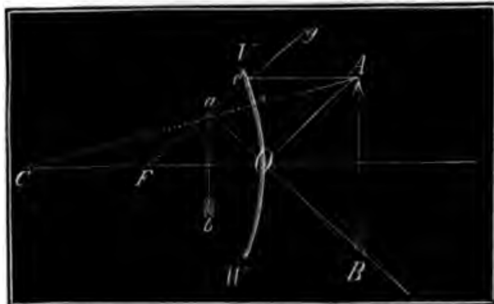
Fig. 259.



hoofdbrandpunt in het midden tusschen den spiegel en het middelpunt *c*. Bijgevolg is het gemakkelijk, om de beelden te construeren, welke men door zoodanige spiegels verkrijgt.

In Fig. 260 zij *V W* de bolle spiegel, en *A B* een voorwerp vóór denzelven. De straal *A n*, die regthoekig op den spiegel valt, wordt teruggekaatst in de rigting *n A*; doch de straal *A e*, welke evenwijdig met de hoofd-as is, wordt teruggekaatst in de rigting *e g*, alsof hij uit het denkbeeldige hoofdbrandpunt *F* kwame. Zoo men daarentegen *e g* en *n A* naar achter verlengt, dan snijden deze verlengden zich achter den spiegel in *a*, en daar is derhalve het beeld van *A*, d. i. al de van *A* uitgaande stralen worden door den bollen spiegel zoodanig teruggekaatst, alsof zij uit *a* kwamen.

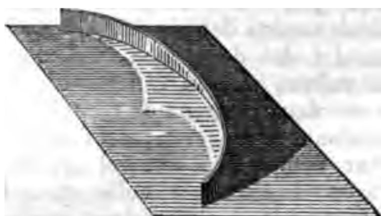
Fig. 260.



Nadat men ook het beeld *b* van het punt *B* gevonden heeft, kan men gemakkelijk overtuigd raken, dat men door bolle spiegels *verkleinde*, *regte beelden* achter den spiegel verkrijgt.

120 **Over de brandlijnen.** Wanneer de van een lichtgevend punt uitgaande lichtstralen, na derzelver doorgang door eene gebogene oppervlakte niet naauwkeurig weder in een en hetzelfde punt vereenigd worden, dan zullen toch telkens de twee aan twee nabij elkander gelegene teruggekaatste stralen elkander snijden; en al de snijdpunten van telkens twee nabij elkander in hetzelfde vlak teruggekaatste stralen, stellen eene kromme lijn daar, welke men *brandlijn* of *caustische lijn* noemt, en wier gesteldheid afhankelijk is van de gesteldheid der terugkaatsende oppervlakte. Al de door eene terugkaatsende gebogene oppervlakte voortgebragte brandlijnen, vormen, te zamen genomen, eene gebogene vlakte, die *caustische vlakte* heet. In derzelver nabijheid is de intensiteit van het licht het sterkst, gelijk men dit kan zien aan de hartvormige lijn, die zich binnen een cilindrisch vat of eenen ring voordoet, in gevalle daarop het zonnelicht of het licht eener vlam schijnt. In Fig. 261 wordt eene zoodanige brandlijn, die door eene gebogene spiegelende streep is daargesteld, afgebeeld.

Fig. 261.



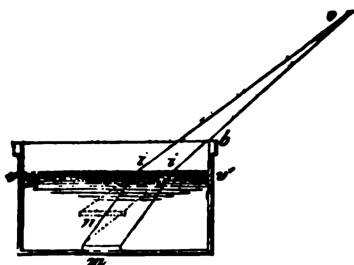
TWEEDE HOOFDSTUK.

Breking van het licht. Dioptrica.

Door *breking* verstaat men die afwijking, die verandering van rigting, welke een lichtstraal ondergaat, wanneer hij uit de eene middelstof in eene andere overgaat. Dat er in der daad eene zoodanige verandering van rigting plaatst grijpt, daarvan kan men zich door de volgende proef overtuigen. 121

Op den bodem van een vat *v v'*, Fig. 262, legge men een geldstuk of eenig ander stuk metaal, *m*, en houde het oog *o* zoodanig, dat men hoogstens den rand van het geldstuk ziet, terwijl het geheele overige gedeelte van dit geldstuk door den rand *b* van het vat verborgen schijnt. Indien er nu water in het vat gegoten wordt, dan schijnt het geldstuk meer en meer te rijzen, totdat eindelijk het geheele stuk zigtbaar is en bij *n* schijnt te liggen, ofschoon zoowel na als voor het bewerkstelligen van dit alles, het oog niet van plaats veranderd is. Het licht komt nu niet meer in eene regte lijn van *m* naar *o*, maar het beschrijft de gebrokene lijn *m i o*.

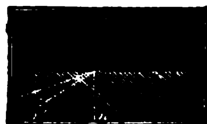
Fig. 262.



De *hoek van inval* is bij de breking, even als bij de terugkaatsing, die hoek, welken de invallende straal bij Fig. 263 met de in het punt van inval getrokkene loodlijn *i n* maakt.

De *brekingshoek* is die, welken de gebroken straal *i n* met het verlengde *i n'* van de loodlijn maakt.

Fig. 263.

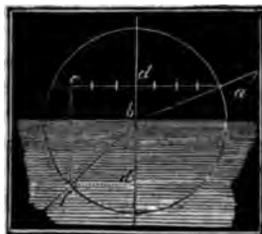


Het *vlak van inval* is de vlakte, die gevormd wordt door den invallenden straal en de loodlijn, het *vlak van breking* is het door den gebrokenen straal en de loodlijn bepaalde vlak.

Het vlak van breking valt zamen met het vlak van inval, doch tusschen den hoek van inval en den hoek van breking bestaat het navolgende verband:

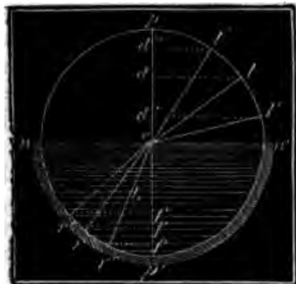
In Fig. 264 zij *l b* een lichtstraal, die op eene watervlakte valt, *b f* zij de daaraan beantwoordende straal. Denkt men zich nu om *b* eenen cirkel getrokken, dan snijdt deze den invallenden straal bij *a*, den gebrokenen straal bij *f*; en zoo men nu van uit *a* eene loodlijn *a d*, van uit *f* eene loodlijn *f d'* op de loodlijn trekt, dan zal *f d'* ¾ van *a d* zijn.

Fig. 264.



Dit zelfde verband bestaat nu altijd, bij den overgang van eenen lichtstraal uit de lucht in het water, tusschen de rigting van den invallenden en den gebrokenen straal. Wanneer in Fig. 265 de invallende straal *l' c*, naar *c r'*, *l c* naar *c r*, *l'' c* naar *c r''* gebroken wordt, dan is $r'' f'' = \frac{3}{4}\, l'' d''$, $r f = \frac{3}{4}\, l\, d$, $r' f' = \frac{3}{4}\, l' d'$.

Fig. 265.



Indien de straal van den cirkel, Fig. 265, = 1 gesteld wordt, dan heeten de bovenvermelde loodlijnen, de *sinus* van de beantwoordende hoeken; *l' d'* is de sinus van den hoek *l' c p*, *l d* = *sin. l c p*, *l'' d''* = *sin. l'' c p*; eveneens is *r' f'* = *sin. r' c p'*; *r f* = *sin. r c p'*; *r'' f''* = *sin. r'' c p'*.

Door de invoering van deze benaming kan men nu de wet van breking voor den overgang van lichtstralen uit de lucht in het water, eenvoudig uitdrukken gelijk volgt:

De sinus van den hoek van breking, is altijd $\frac{3}{4}$ van den sinus des beantwoordenden hoeks van inval.

Bij den overgang uit de lucht in glas ondergaan de lichtstralen eene nog grootere afwijking; want in dit geval is de sinus van den hoek van breking ongeveer $\frac{2}{3}$ sinus van den hoek van inval.

De verhouding van den sinus van den brekingshoek tot den sinus van den invalshoek, is voor iedere zelfstandigheid verschillend; deze verhouding noemt men den *brekings-exponent*. De waardij van den brekingsexponent is voor

Water	4/3
Glas	3/2
Diamant	5/2

Bij den overgang uit de lucht in diamant is derhalve de sinus van den hoek van inval $2\frac{1}{2}$ maal grooter dan de sinus van den brekingshoek, de lichtstralen ondergaan dus in den diamant eene zeer sterke afwijking van hunne rigting, de diamant is eene zeer sterk lichtbrekende zelfstandigheid.

122 **Breking van het licht door prismen.** Een *prisma* noemt men in de optica eene doorzigtige middelstof, welke door twee naar elkander gekeerde vlakken begrensd is.

De *kant* van het prisma is die lijn, waarin de beide begrenzende vlakken elkander snijden, of ten minste zouden snijden, zoo zij genoegzaam verlengd werden.

De *basis* van het prisma is een tegen over de brekende kant gelegen vlak, dat of werkelijk aanwezig, of slechts denkbeeldig is.

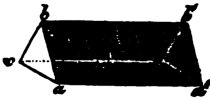
De *brekende hoek* is die hoek, welken de beide vlakken van het prisma met elkander maken.

De *hoofddoorsnede* noemt men de doorsnede van het prisma met een op deszelfs kant regthoekig vlak.

Gewoonlijk bezigd men prismen, welke door drie regthoekige vlakken *a b a' b'*, *b c b' c'* en *c a c' a'* begrensd zijn. Wanneer het licht door de vlakken *a b'* en *a c'* heen gaat, dan is *a a'* de brekende kant, en het vlak *b c'* de basis; *b b'* is de brekende kant, ingeval de lichtstraal gaat door de vlakken *b a'* en *b c'*, enz.

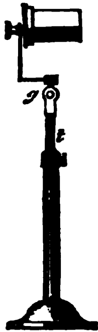
De hoofddoorsnede van een zoodanig prisma is een driehoek, en naarmate deze driehoek, regthoekig, gelijkbeenig of gelijkzijdig is, noemt men ook het prisma zelf regthoekig, gelijkbeenig of gelijkzijdig.

Fig. 266.



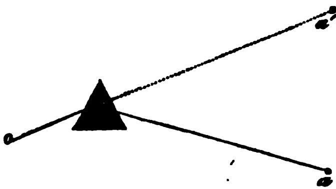
Gewoonlijk bevestigt men de prismen op eenen geelkoperen staaf, Fig. 267. Door het staafje *t* in de buis, waarin het bevat is, op en neder te schuiven, kan men het prisma hooger of lager stellen, en door middel van het scharnier bij *g*, kan men het naar verkiezing in elken stand plaatsen.

Fig. 267.



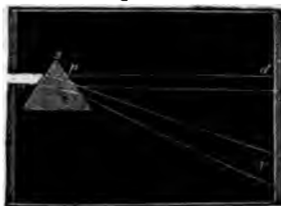
Indien men een prisma zoodanig houdt, dat de brekende kant naar boven gerigt is, en men ziet nu door hetzelve heen, dan neemt men daarbij twee opmerkelijke verschijnselen waar; vooreerst schijnen al de voorwerpen aanmerkelijk verwijderd van de plaats waar zij werkelijk zijn, en wel schijnen zij hooger geplaatst: het oog *o*, Fig. 268, ziet door het prisma het voorwerp *a* in *a'*; ten tweede zijn de voorwerpen ook door gekleurde randen omgeven. Zoo de brekende kant naar beneden gerigt ware geweest, dan zouden al de voorwerpen, door het prisma gezien, naar beneden verplaatst schijnen. Door een verticaal prisma worden de voorwerpen naar de regter of linkerzijde verplaatst, al naar mate de brekende kant zich aan de regter of linkerzijde bevindt. Indien men de proef zoodanig wijzigt, dan kan men zich gemakkelijk overtuigen, dat alle voorwerpen, door het prisma gezien, naar de zijde van den brekenden kant verplaatst schijnen.

Fig. 268.



Wanneer een zonnestraal door eene kleine opening in de rigting *v d*, Fig. 269, in eene donkere kamer treedt, en men denzelven door een prisma opvangt, dan neemt men eveneens eene verandering in de rigting en in de kleur waar. Stellen wij dat het prisma horizontaal geplaatst zij, met den brekenden kant naar boven gerigt, dan aanschouwt men in *r*, in plaatst van het witte ronde zonnebeeldje, hetwelk, zonder het prisma, bij *d* zich zou hebben vertoond, een ovaal beeld, met

Fig. 269.



de kleuren van den regenboog voorzien, het *zonne-spectrum*. Zoo de brekende kant naar beneden gerigt ware geweest, dan zou het gekleurde zonnebeeld zich voorgedaan hebben boven *d*. Door een verticaal prisma wordt, naar gelang van zijnen stand, het zonnebeeld ter regter of ter linker zijde verplaatst.

De bovenvermelde kleursveranderingen zullen wij later beschouwen, en voor het oogenblik ons slechts bezig houden met de afwijking van de rigting.

De bovenvermelde verschijnselen laten zich gemakkelijk verklaren. In Fig. 270 zij *a s* het eerste, *a' s* het tweede vlak van een glazen prisma; *l i* zij de invallende, *i i'* de gebrokene, *i' e* de uit het prisma tredende straal. Bij den overgang uit de lucht in het glas, wordt de invallende straal gebroken, en nadert de loodlijn *i n*; aan het tweede vlak gekomen, wordt hij op nieuw gebroken, doch bij den overgang in de lucht van de loodlijn *i' n'* verwijderd.

Fig. 270.



Bij een prisma zullen, onder overigens gelijke omstandigheden, de lichtstralen des te meer van de rigting afwijken, hoe grooter de brekende hoek is. Ingeval deze hoek 60° is, dan is de afwijking grooter, dan ingeval hij slechts 45° bedroeg.

Door een prisma, hetwelk uit eene sterker lichtbrekende zelfstandigheid bestaat, ondergaan de lichtstralen eene aanmerkelijker afwijking, dan door een volkomen eveneens gevormd prisma van eene zelfstandigheid met zwakker lichtbrekend vermogen. In een prisma van water is de afwijking geringer, dan in een van glas.

In een en hetzelfde prisma is de grootte der afwijking nog afhankelijk van de rigting, waarin de lichtstralen op het eerste vlak vallen. Zoo men door een prisma een voorwerp beschouwt, dan ziet men, dat het beeld zich nu eens meer van de plaats van het voorwerp verwijdert, dan weder dezelve meer nadert, wanneer men het prisma om zijne as draait. De geringste afwijking vindt plaats in het geval, dat de stralen het prisma symmetrisch doorloopen, zoo als dit in Fig. 270 het geval is. Zoo de rigting van den invallenden straal naar den eenen of anderen kant veranderd ware, dan zou de afwijking grooter worden.

Om prismen daar te stellen uit vloeistoffen, bedient men zich van holle prismen, wier zijwanden gevormd zijn door glazen platen.

123 **Breking van het licht door lenzen.** *Lenzen* noemt men door*zigtige* ligchamen, welke de eigenschap bezitten van het

zamenloopen der door dezelve heengaande stralen te vermeerderen of te verminderen.

Wij houden ons hier enkel bezig met *spherische* linzen, d. i. met zoodanige, wier omtrekken gedeelten van oppervlakten en doorsneden van eenen bol zijn, omdat enkel deze voor optische werktuigen worden gebezigd. Bovendien bestaan er nog *elliptische* linzen, *parabolische*, *cilindrische* enz., die gelijke verschijnselen aanbieden als de spherische.

Men onderscheidt zes verschillende soorten van linzen, welke in Fig. 271 in doorsnede zijn voorgesteld. Fig. *a* stelt eene dubbel bolvormige, of *biconvexe lins* voor, d. i. eene zoodanige, die begrensd is door twee naar buiten gewelfde kogel-oppervlakten. De plat bolvormige, *planconvexe*, lins *b* is begrensd door eene platte en eene bolvormige oppervlakte. De *concaaf-convexe* linzen, die door eene bolle en eene holle oppervlakte begrensd zijn, zoo als *c* en *f*, worden ook *menisci* genaamd, en men onderscheidt daarvan twee soorten, naarmate de kromming der holle vlakte minder is, zoo als bij *e*, of aanmerkelijker, zoo als bij *f*. In *d* is eene *biconcave*, in *e* eene *planconcave* lins afgebeeld.

Fig. 271.



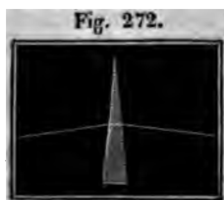
De drie eersten, *a*, *b* en *c* zijn in het midden dikker dan aan den rand, en heeten *verzamelings-linzen*. De drie laatsten, *d*, *e* en *f*, die in het midden minder dik zijn dan aan den rand, heeten *verstrooijings-linzen*.

De as van eene lins noemt men de regte lijn, door welke de middelpunten der beide kogel-oppervlakten, die de lins daarstellen, worden vereenigd. Bij de planconvexe en planconcave linzen wordt de as daargesteld door de, van het middelpunt der kromming, op de oppervlakte getrokken loodlijn.

Ten einde de belangrijkste stellingen omtrent de breking des lichts door linzen, te kunnen ontwikkelen, moeten wij nog eens terugkeeren tot de prismen, en het geval beschouwen, dat de brekende hoek van het prisma zeer klein is.

In een prisma met eenen kleinen brekenden hoek, zoo als in Fig. 272, is namelijk de afwijking, een onbeduidend verschil daargelaten, evenredig aan den brekingshoek. Een prisma, welks brekende hoek tweemaal zoo groot is als van het prisma in Fig. 272, zou eene tweemaal zoo groote afwijking bewerken, en zoo de brekingshoek van het prisma half zoo groot ware als in Fig. 272, dan zou ook de afwijking slechts half zoo groot zijn.

Fig. 272.



In Fig. 273 is nu $a\,b\,c\,d$ een langwerpige vierhoek, waartegen van boven het paraleltrapezoideum $a\,b\,g\,f$, en van onder een dergelijk gelegen is, terwijl voorts van boven een driehoek $f\,g\,h$, en van onder een dergelijke driehoek daartegen ligt. De beide zijden van het paraleltrapezoideum, welke niet aan elkander evenwijdig zijn, stellen, verlengd zijnde, eenen gelijkbeenigen driehoek daar, wiens scherpe hoek half zoo groot is als de scherpe hoek van den bovensten driehoek bij h.



Fig. 273.

Wanneer men zich de geheele figuur om hare as $M\,N$ gedraaid denkt, dan ontstaat er een, uit onderscheidene kringen gevormd, linsvormig ligchaam. Het middelste gedeelte stelt eene schijf daar.

Zoo er nu lichtstralen, van een punt der as $M\,N$ uitgaande, op dit stelsel van kringen vallen, dan kan men de afwijking, welke de lichtstralen in iedere kring ondergaan, ontwikkelen uit de wetten der breking van het licht door prismen.

Het punt S zij zoodanig gelegen, dat een van hier afkomstige lichtstraal, welke op het stuk $a\,g$ in i valt, bij den doorgang door $a\,b\,g\,f$ het minimum van afwijking onderga, dan zal de uittredende straal geheel en al symmetrisch zijn met den invallenden, en snijdt de as in een punt R, hetwelk even zoo ver van de lins verwijderd is als S.

Een lichtstraal, die in den driehoek $h\,f\,g$ het minimum van afwijking ondergaat, wijkt van zijne oorspronkelijke rigting tweemaal meer af dan $f\,g\,a\,d$, omdat de brekende hoek van het brekende prisma tweemaal zoo groot is als die van het onderste. Een zoodanige lichtstraal nu, welke in den bovensten driehoek het minimum van afwijking ondervindt, gaat door dezen driehoek heen in de rigting $l\,m$, welke paralel is met de as $M\,N$; doch de invallende straal zoowel als de intredende zullen met deze horizontale rigting eenen hoek maken, die noodwendig tweemaal zoo groot is als die, welke beantwoordt aan het minimum der afwijking van de in $a\,b\,g\,f$ in- en uittredende stralen. Wanneer er derhalve van uit S een straal $S\,o$ uitgaat, die met $M\,N$ eenen tweemaal grooteren hoek maakt dan $S\,i$, dan zal dezelve in $f\,g\,h$ het minimum van afwijking ondergaan, en, aan de andere zijde symmetrisch uittredende, in de rigting van R gebroken werden. De straal $S\,l\,m\,R$ treedt door de lins op eenen tweemaal grooteren afstand van de as, dan de straal $S\,i\,k\,R$, die slechts eene half zoo groote afwijking ondergaat.

Denken wij nu in plaats van de gebrokene lijnen $d\,b\,f\,h$ en $c\,a\,g\,h$ van de vorige Figuur, cirkelbogen, wier middel-

punten in de as *M N* gelegen zijn. dan verkrijgen wij, in plaats van het zoo even beschouwde linsvormige ligchaam, eene volkomene lins, Fig. 274; en een lichtstraal, die op de eene of andere plaats, b. v. in *a*, op de lins valt, wordt volkomen zoodanig gebroken, alsof hij gevallen ware op een prisma, van hetwelk de doorsnede kan bepaald worden, zoo men in *a* en de tegenoverliggende punten raaklijnen trekt naar de cirkelbogen.

Fig. 274.



Zoo men nu op eene tweede plaats *b*, die tweemaal verder van de as is verwijderd dan *a*, naar beide zijden zoodanige raaklijnen trok, dan zouden deze elkander snijden onder eenen hoek, die tweemaal grooter is dan die, onder welken de van uit *a* getrokken raaklijnen elkander snijden.

Een lichtstraal nu, welke bij *a* paralel met de as door de lins heengaat, zal vóór zijne intrede en na zijne uittreding uit deze lins gelijke hoeken maken met de as, en zal dezelve snijden in de punten *S* en *R*, die aan beide zijden even ver van de lins verwijderd zijn. Wanneer er nu van uit *S* een tweede lichtstraal uitgaat, welke in *b* op de lins valt, dan zal deze eene tweemaal grootere afwijking ondergaan als bij *a*, en bijgevolg eveneens in de rigting van *R* gebroken worden. Een lichtstraal, die, van *S* uitgaande, op de lins valt in *c*, d. i. op een punt hetwelk driemaal verder dan *a* van de as verwijderd is, zal eene driemaal sterker afwijking ondergaan, en dus ook gebroken worden naar hetzelfde punt *R*.

Hetgeen voor de punten *a*, *b* en *c* gezegd is, geldt mede voor de tusschen gelegen punten; voor eene zoodanige lins als in Fig. 274 bestaat er derhalve een punt *S*, hetwelk de eigenschap bezit, dat al de van hetzelve uitgaande stralen, die op de lins vallen, door deze verzameld worden naar een en hetzelfde punt *R*, hetwelk aan de andere zijde even ver van de lins is verwijderd als *S*.

Deze redeneringen zijn evenwel slechts zoolang geldig, als de kromming van het midden tot aan den rand niet aanmerkelijk is; want slechts zoo lang verandert de rigting der raaklijnen evenredig aan derzelver afstanden van de snijdpunten op de as.

In het navolgende is enkel sprake van zoodanige linzen, bij welke de kromming van het midden naar den rand onbeduidend is.

Zoo lang de hoek, onder welken de invallende straal op een prisma met kleinen brekenden hoek valt, niet veel van de regte lijn afwijkt, zoo lang derhalve de stralen op het prisma ten naastenbij in die rigting vallen, welke met het minimum van afwij-

king overeenkomt, zal de door het prisma te weeg gebragte afwijking niet aanmerkelijk verschillen van het minimum der afwijking.

Ditzelfde geldt mede voor de linzen. Indien op de lins, Fig. 274, in *c* een lichtstraal valt, welks rigting niet zeer aanmerkelijk afwijkt van de rigting *S c*, dan zal de afwijking, welke hij door de breking in de lins ondergaat, gelijk zijn aan de afwijking, welke de straal *S c* ondervindt.

In Fig. 274 zij *S* een punt van de as *M N*, hetwelk zoo

Fig. 275.



gelegen is, dat de van hetzelve uitgaande stralen, die op de lins vallen, deze symmetrisch doorloopen, en aan de andere zijde vereenigd worden in een punt *R*, hetwelk even zoo ver van de lins verwijderd is als *S*. De straal *S c*, welke in de nabijheid van haren rand op de lins valt, wordt gebroken naar *c R*, de invallende en de gebrokene straal maken met elkander den hoek *S c R*. Indien nu een lichtstraal, niet van *S*, maar van *T* uitgaande, in *c* op de lins viel, dan zou, volgens het zoo even ontwikkelde, de straal *T c* eene even sterke afwijking ondergaan als *S c*, en men zou derhalve de rigting van den straal, na zijne uittrede uit de lins verkrijgen, door de lijn *c T'* zoodanig te trekken, dat de hoek *T c T'* even groot is als de hoek *S c R*, of, met andere woorden, zoo men op *c R* eenen hoek *R c T* construeert, die even groot is als de hoek, dien *S c* in vergelijking met *T c* maakt.

Naar het punt *T* van de as wordt evenwel ook de straal *T d* gebroken, welke straal, van uit *T*, op den onderrand van de lins valt; ja zelfs *alle* stralen, die, van *T* uitgaande, op de lins vallen, zullen in *T'* worden geconcentreerd, want naar dezelfde mate, in welke de invallende stralen nader bij de as liggen, ondergaan zij ook minder afwijking, en worden derhalve gezamenlijk in *T'* vereenigd; althans zoo lang de hoek, dien de buitenste invallende stralen met de as maken, niet eenen zekeren grens te boven gaat, niet zoo groot wordt, dat men zonder merkelijk verschil nog de hoeken als aan hunne raaklijnen evenredig kan beschouwen.

Indien alzoo het lichtende punt van uit *S* nader bij de lins gebragt wordt, dan zal het vereenigingspunt der stralen aan de andere zijde zich van de buis verwijderen; hoe meer *T* nabij komt, des te meer verwijdert zich *T'*, doch de afstand waarop *T'* zich verwijdert, is betrekkelijk grooter dan die, waarmede *T* nadert.

Laat ons nu onderzoeken, hoedanig door de lins de stralen wor-

den gebroken, die, Fig. 276, van eenig punt *F*, van de as uitgaan, welke laatste zoodanig loopt, dat $Fc = FS$. In dit geval is de hoek $o = y = z$. Nu wordt echter de straal *F c* zoodanig gebroken door de lins, dat de hoek *x*, welken de uittredende straal maakt met *c R*, gelijk aan *y* is, bijgevolg $x = z$, waaruit volgt, dat de straal *F c* zoodanig door de lins wordt gebroken, dat hij evenwijdig loopt met de as.

Fig. 276.



Dit zelfde geldt voor al de overige van *F* uitgaande stralen, die op de lins vallen, en als een met de as evenwijdige stralenbundel uittreden.

Indien men, hetgeen trouwens in de meeste gevallen wel geoorloofd is, het verschil van dikte der lins in betrekking tot den afstand der punten *S* en *F* niet in aanmerking neemt, kan men zeggen, dat het punt *F* midden tusschen *S* en de lins is gelegen. Zoo men derhalve een lichtend punt van uit *S* tot de lins doet naderen, dan wordt het vereenigingspunt aan de andere zijde der lins verder naar achteren verplaatst; en zoo het lichtende punt verplaatst wordt tot *F*, dan wordt het vereenigingspunt van achter tot in het oneindige verplaatst, de stralen treden evenwijdig met de as naar buiten.

Doch wanneer er, omgekeerd, van een in de rigting der as gelegen oneindig verwijderd punt, stralen op de lins vallen, of, met andere woorden, wanneer er een bundel van met de as evenwijdige stralen op de lins valt, dan zullen deze door de lins vereenigd worden in *F*. Dit vereenigingspunt *F* van de evenwijdig met de as invallende stralen, draagt den naam van *hoofdbrandpunt.*

Komt het lichtende punt van uit eenen oneindigen afstand nader bij, dan verwijdert zich het vereenigingspunt aan de andere zijde van de lins. Is het lichtende punt in *T'*, Fig. 275, dan is het vereeniginspunt in *T*; komt het lichtende punt nog nader, tot aan *R*, dan is het vereenigingspunt in *S*; nadert het zoo zeer tot de lins, dat het midden tusschen deze en *R* te staan kont, zoodanig derhalve dat het tot op de *brandwijdte* nadert, dan loopen de stralen na hunnen doorgang door de lins evenwijdig met de as.

De brandwijdte, d. i. de afstand van het brandpunt *F* van de lins, is niet alleen afhankelijk van de gedaante der lins, maar ook van den brekings-exponent der zelfstandigheid, uit welke zij vervaardigd is.

Voor eene biconvexe glazen lins, wier oppervlakten beide eenen gelijken diameter hebben, vallen de brandpunten aan beide zijden zamen met de middelpunten der kogelsegmenten, voorondersteld, dat de brekings-exponent van dit glas juist $\frac{3}{2}$ zij.

Indien de brekings-exponent van de lins grooter is, dan ligt het brandpunt nader bij de lins, doch daarentegen is dit punt verder van dezelve verwijderd, zoo de brekings-exponent kleiner is.

Hetgeen van de biconvexe linsen is gezegd, geldt ook voor de convexe menisci en voor de planconvexe glazen; doch zij hebben een hoofdbrandpunt, in hetwelk al de stralen, welke aan den anderen kant evenwijdig met de as invallen, samenkomen; de stralen van uit een op de as gelegen punt, hetwelk ter afstand van de dubbele brandwijdte van het glas verwijderd is, worden aan de andere zijde vereenigd in een punt, hetwelk eveneens ter afstand van de dubbele brandwijdte van het glas af staat.

Voor eene planconvexe lins, wier brekings-exponent $\frac{3}{2}$ is, staat het brandpunt ter afstand van tweemaal den straal der bolle vlakte van de lins af.

Zoo het lichtende punt *L*, Fig. 277, zoo digt nabij de lins komt, dat het nog binnen de brandwijdte ligt, dan divergeert de

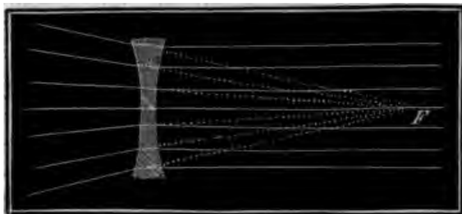
Fig. 277.



op de lins vallende stralenkegel zoo zeer, dat de lins niet meer in staat is om de stralen convergerend, of zelfs slechts evenwijdig, te maken; doch dan divergeren zij na den doorgang door de lins minder dan vroeger, zij verspreiden zich zoodanig, als of zij afkomstig waren van uit een punt *O*, hetwelk verder van het glas is verwijderd dan het lichtende punt.

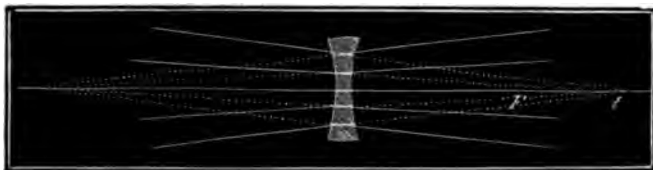
Zoodanige beschouwingen zijn ook van toepassing op *holle glazen*. Ingevalle de invallende stralen evenwijdig zijn, divergeren deze zoodanig, als of zij afkomstig waren van uit het hoofdverstrooijingspunt *F*, Fig. 278; doch wanneer het lichtende punt nader bij komt, en dus reeds de invallende stralen divergerend zijn, dan zullen zij na hunnen doortogt door het glas nog meer divergeren dan zulks het geval was met de evenwijdig invallende stralen, en derhalve komt het verstrooijingspunt in dezelfde mate nader bij het glas, als het lichtende punt tot hetzelve nadert.

Fig. 278.



Nu blijft ons nog het geval te beschouwen, in hetwelk de invallende stralen *convergerend zijn.* Indien de invallende stralen convergeren naar het, aan de andere zijde van het glas gelegene hoofdverstrooijingspunt *F*, dan zullen de gebroken stralen noodwendig paralel naar buiten treden, hetgeen het omgekeerde is van het in Fig. 278 voorgestelde geval. Zoo de inval-

Fig. 279.



lende stralen sterker convergeren, dan zullen zij ook nog convergeren na de breking; doch wanneer de invallende stralen convergeren naar een punt *t*, Fig. 279, hetwelk verder van het glas is verwijderd dan het hoofdverstrooijingspunt, dan divergeren zij nog zoodanig, alsof zij kwamen van uit een punt voor het glas, zoo als men dit in de Fig. ziet. De beschouwing van dit geval is van belang ter verklaring van den verrekijker van GALILEI, waarover wij weldra zullen handelen.

Secundaire assen. Tot hiertoe hebben wij enkel zoodanige lich- 124
tende punten beschouwd, die op de as der lins zelve liggen, doch nu blijft ons nog over aan te toonen, dat al het gezegde mede geldig is voor die punten, welke niet op de hoofdas liggen, althans zoo de *nevenassen* (secundaire assen) met de hoofdas slechts eenen kleinen hoek maken. Door *nevenassen* verstaat men de lijn, die men zich van een niet op de hoofdas gelegen punt, door het midden van de lins getrokken denkt.

In Fig. 280 zij *H* een niet op de hoofdas gelegen lichtend

Fig. 280.



punt, dan zullen al de van hetzelve uitgaande lichtstralen vereenigd worden in een punt *H'*, hetwelk op de nevenas *M N'* even zoo ver van de lins verwijderd is, als het vereenigingspunt *T'* van de stralen, die uitgaan van een punt *T*, hetwelk, op de hoofdas gelegen, even ver van de lins af staat als *H*.

Men kan dit gemakkelijk bewijzen. De middelste straal *H M'* gaat zonder gebroken te worden door de lins heen; voorts is

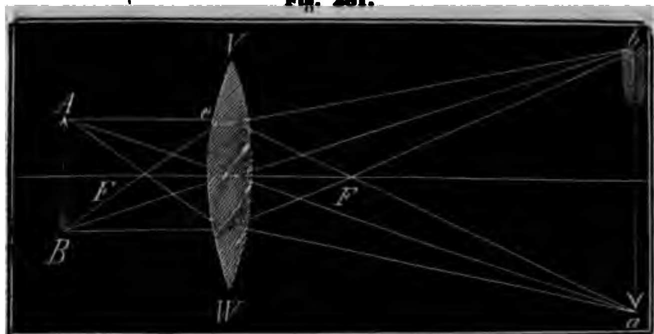
$H\,c = T\,c$, en de hoek $c\,T\,M = c\,H\,M'$ (althans ten naastenbij); naardien de straal $T\,c$ in c even sterk van de rigting afwijkt als $H\,c$, is ook de hoek $H\,c\,H' = T\,c\,T'$, bijgevolg is driehoek $H\,c\,H'$ = driehoek $T\,c\,T'$, derhalve $T\,T' = H\,H'$, en H' is dus even ver van de lins verwijderd als T'.

Dit zelfde blijkt mede uit vergelijking van de driehoeken $T\,d\,T'$ en $H\,d\,H'$.

Het *veld* van eene lins noemt men den hoek, dien twee der nevenassen nog met elkander kunnen maken, zonder dat de veronderstellingen van het bovenstaande bewijs onjuist worden.

125 **Over de beelden, welke door lenzen worden voortgebragt.** In Fig. 281

Fig. 281.



zij $A\,B$ een voorwerp, hetwelk zich aan de eene zijde van de lins $V\,W$ bevindt, doch verder van haar af staat, dan het brandpunt F. De van A uitgaande stralen worden vereenigd in een punt a op de nevenas, welke van uit A door het midden van O van de lins is getrokken; a is derhalve het beeld van A. Eveneens is b het beeld van B, en dus ook $a\,b$ het beeld van het voorwerp $A\,B$; het beeld is in dit geval verkeerd en is een waar verzamelingsbeeld.

Van het midden der lins gezien, doen beeld en voorwerp zich onder eenen gelijken hoek voor, want hoek $b\,o\,a$ is, als tophoek, gelijk aan hoek $B\,o\,A$; of nu het beeld of het voorwerp grooter zij, is bijgevolg daarvan afhankelijk, of het beeld of wel het voorwerp het verst van het glas zij verwijderd. Stellen wij, dat het beeld ter afstand van de dubbele brandwijdte van het glas verwijderd ligge, dan zal het beeld aan de andere zijde op eenen gelijken afstand ontstaan, en derhalve zijn in dit geval het beeld en het voorwerp even groot. Zoo het voorwerp nader bij het glas komt, dan verwijdert het beeld zich, en wordt dus grooter. Van die voorwerpen derhalve, welke verder dan de brandwijdte, maar minder dan de dubbele brandwijdte van het glas verwijderd zijn, verkrijgt men omgekeerde vergroote beelden; zoo is in onze Figuur het beeld $a\,b$ grooter dan het voorwerp $A\,B$.

Indien het voorwerp verder dan de dubbele brandwijdte

van het glas verwijderd is, ligt het beeld nader bij; en van ver gelegen voorwerpen krijgt men dus omgekeerde verkleinde beelden. Ware b. v. *a b*, Fig. 281, een zoodanig voorwerp, hetwelk meer dan de dubbele brandwijdte van het glas verwijderd is, dan zou men het verkleinde beeld *A B* verkrijgen.

Noemen wij de grootte van het voorwerp *g*, die van het beeld *g'*, den afstand van het voorwerp *b*, en den afstand van het beeld *m*, dan is

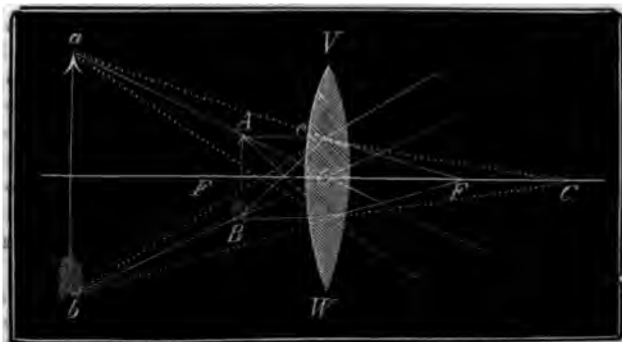
$$g : g' = b : m,$$

d. i. het beeld en het voorwerp verhouden zich als hunne afstanden van de lins.

Bij eene lins van korte brandwijdte liggen de beelden nader bij het glas, dan bij eene lins van grootere brandwijdte; en van verwijderde voorwerpen geven de linzen derhalve des te kleiner beelden, hoe korter hare brandwijdte is. Omgekeerd verkrijgt men, in geval dat de lins vergroote beelden geeft van kleinere voorwerpen, die zich nabij haar brandpunt bevinden, bij gelijken afstand tusschen het beeld en de lins, het grootste beeld van die linzen, welke eene kleinere brandwijdte hebben, omdat bij deze het voorwerp nader bij de lins komt.

Zoo het voorwerp zich nog binnen de brandwijdte van de lins bevindt, kan er geen verzamelingsbeeld van hetzelve ontstaan, omdat de stralen, uitgaande van een punt hetwelk nader bij het glas is gelegen dan het brandpunt, na hunnen doorgang door het glas nog immer divergeren. In Fig. 282 zij *A B* een zoodanig, nog binnen de brandwijdte gelegen voorwerp, dan divergeren de van *A* uitgaande stralen, na hunnen doorgang door het glas, alsof zij van uit *a* kwamen. Den afstand van het punt *a* van het glas kan men gemakkelijk vinden uit de boven aangegeven constructien. De van *B* uitgaande stralen divergeren na hunnen doortogt door de lins zoodanig, alsof zij van *b* kwamen. Indien nu het oog geplaatst is aan de andere zijde van het glas, dan wordt het door de lichtstralen, die van het voorwerp *A B* uitgaan, zoodanig getroffen, alsof zij van *a b* kwamen; en *a b* is

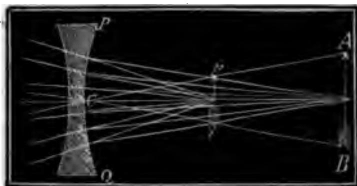
Fig. 282.



bijgevolg het beeld van AB. Dewijl het voorwerp en het beeld binnen denzelfden hoek $a\,o\,b$ gelegen zijn, doch het voorwerp nader bij het glas ligt, is natuurlijk in dit geval het beeld grooter dan het voorwerp. Zoo men eene lins als loupe bezigt, dan ziet men daarmede het op deze wijze vergroote beeld. Wij zullen hierop later nog terug komen.

De holle glazen geven geene verzamelingsbeelden, maar slechts zoodanige beelden als er bij convexe linzen ontstaan, wanneer het voorwerp zich binnen de brandwijdte bevindt. Naardien nu eene holle lins de van een punt uitgaande stralen nog meer doet uiteenwijken, alsof zij afkomstig waren van een nader bij het glas gelegen punt, is het duidelijk, dat de holle glazen omgekeerde beelden van de voorwerpen leveren, zoo als men dit duidelijk ziet in Fig. 283, waar AB het voorwerp, $p\,q$ het beeld is.

Fig. 283.

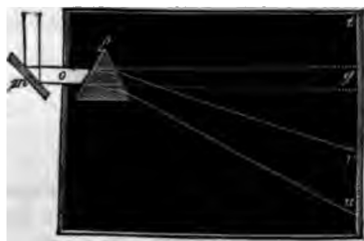


DERDE HOOFDSTUK.

Ontbinding van het witte licht.

126 **Het witte zonnelicht is samengesteld uit verschillend gekleurde stralen.** Ten einde dit te bewijzen, behoeft men slechts op de boven (bladz. 228) aangegeven wijze een zonne-spectrum te vormen. In Fig. 284 zij m een spiegel, die, aan het venster van eene donkere kamer aangebragt, de zonnestralen door de opening o in de kamer werpt; p het brekende prisma, t een wand welke de beelden opvangt. Vóór men het prisma op deszelfs plaats stelt, ziet men een wit rond zonnebeeld in g, doch door het prisma verkrijgt men een langwerpig gekleurd beeld $r\,u$. — In Fig. 285 wordt dit verschijnsel voorgesteld, zoodanig als men het op den wand t waarneemt.

Fig. 284. Fig. 285.



Dit gekleurde langwerpige zonnebeeld, wordt *spectrum* genoemd.

De lengte van het spectrum is, onder overigens gelijke omstan-

digheden, des te grooter, hoe grooter de brekende hoek van het prisma is. Ook is deze lengte afhankelijk van den aard der zelfstandigheid, uit welke het prisma vervaardigd is.

Bij de in Fig. 284 voorgestelde proef zal men opmerken, dat er in het midden van het spectrum eene witte streep wordt gevormd, wanneer de lengte van het spectrum niet ten minste tweemaal deszelfs breedte te boven gaat; doch zoo het spectrum zeer lang is, dan verdwijnt de witte streep geheel, en men onderscheidt dan in het spectrum zeven hoofdkleuren in de navolgende orde: *rood*, *oranje*, *geel*, *groen*, *blaauw*, *indigo*, *violet*.

Deze kleuren noemt men *regenbooge-kleuren*, *prismatische kleuren* of ook *enkelvoudige kleuren*. Wij zullen weldra zien, dat er eigenlijk ontelbaar vele kleuren in het spectrum zijn, doch dat ons oog onder deze, vooral de genoemde nuancen onderscheidt.

Het roode einde van het spectrum is altijd gekeerd naar die zijde, waar zich het ronde witte zonnebeeld *g*, Fig. 285, zou voordoen, in gevalle de stralen niet door het prisma gebroken waren; en bij gevolg hebben de roode lichtstralen de minste breking ondergaan.

Zoo de opening in het venster ongeveer 1 (Ned.) duim diameter heeft, zoo de brekingshoek van het prisma 60° is, en men het spectrum op eenen afstand van 6 (Ned.) ellen opvangt, dan worden de kleuren reeds volkomen gescheiden; d. i. dat het spectrum overal levendig gekleurd zal zijn en geen wit in het midden meer zal vertoonen; doch de kleuren doen zich afzonderlijk nog zuiverder voor, zoo de opening nog kleiner is.

Ten einde het prismatische kleurenbeeld te doen zien, is het niet noodig om het zonne-spectrum door een prisma op eenen witten wand daar te stellen, want men behoeft slechts door een prisma naar een smal, helder verlicht voorwerp te zien. Indien men b. v. de vlam eener kaars door een loodregt gesteld prisma beschouwd, dan doet dezelve zich aanmerkelijk breeder voor, en is daarbij op de boven beschrevene wijze gekleurd. Zoo men in een venster eene kleine opening van ongeveer 1 (Ned.) duim snijdt, dan ziet men door deze opening den helderen hemel, derhalve eene heldere schijf op eenen donkeren grond. Beschouwt men nu deze schijf door het prisma, dan ziet men in de plaats van den witten kring een zeer verlengd gekleurd beeld, van hetwelk alles geldt, wat vroeger omtrent het spectrum op den wand is aangemerkt.

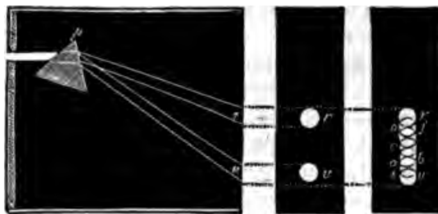
De verschillend gekleurde lichtstralen hebben eenen verschillenden 127
graad van breking. Deze stelling volgt reeds uit de omstandigheid, dat het witte licht door een prisma in verschillend gekleurde stralen wordt ontbonden; de roode stralen vormen met de violette stralen, na den doorgang door het prisma, eenen hoek, zij divergeren, en wel zijn de violette stralen meer van hunne oorspronkelijke rigting afgeweken, dan de

roode. De violette stralen zijn van allen het meest breekbaar, de roode zijn zulks het minst. De groene stralen zijn meer breekbaar dan de roode, en minder dan de violette, omdat in het spectrum het groen tusschen het rood en violet gelegen is.

Stellen wij voor een oogenblik, dat het witte licht enkel roode en violette stralen bevatte, dan is het duidelijk, dat men in plaats van het spectrum, slechts twee ronde, van elkander gescheiden zonnebeelden zou verkrijgen, van welke het eene rood, het andere violet is. Zoodanige gescheiden beelden kan men in der daad daarstellen; want sommige ligchamen bezitten de eigenschap, van niet alle lichtstralen even goed door te laten, en sommige stralen worden derhalve opgeslorpt, geabsorbeerd. Daartoe behooren b. v. gekleurde glazen en gekleurde vochten. Indien men b. v. eene oplossing van zwavelzure indigo tusschen twee paralelle glazen platen brengt, en men ziet door deze oplossing in een prisma naar eene opening in het venster, dan aanschouwt men twee afzonderlijke beelden van de opening, namelijk een rood en een blaauw beeld. Hetzelfde resultaat verkrijgt men, zoo men in de plaats der oplossing van indigo een stukje donker blaauw glas bezigt.

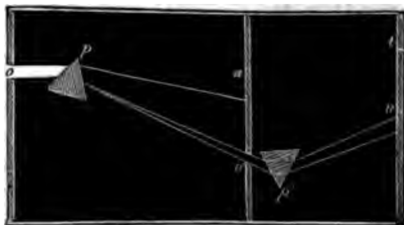
Het geheele spectrum bestaat derhalve uit eene reeks van op elkander volgende kringvormige beelden, die gedeeltelijk over elkander vallen. Hoe kleiner de opening is, door welke de witte stralen op het prisma vallen, des te kleiner wordt ieder dier ronde beelden, terwijl echter de middelpunten der afzonderlijke, gekleurde beelden niet nader bij elkander komen, en derhalve de onderscheidene kleuren minder over elkander vallen; hoe kleiner de opening is, des te zuiverder zullen dan ook de afzonderlijke kleuren zich voordoen.

Fig. 286.



128 **Elke kleur van het spectrum is enkelvoudig.** Ieder dezer kleuren is daarom enkelvoudig te noemen, omdat zij op geene wijze weder in andere kleuren kunnen ontbonden worden; wij zullen nu aantoonen, dat dit werkelijk eene eigenschap is van de prismatische kleuren.

Fig. 287.



Zoo men een spectrum op eenen wand opvangt, en op eene bepaalde plaats voor

voor denzelven, b. v. daar waar de violette stralen vallen, een gat maakt, dan worden alle kleuren opgevangen, en slechts een enkele gekleurde straal gaat door de opening heen; deze straal nu kan op geenerlei wijze verder ontbonden worden, en zoo men hem ook ten tweeden male door een prisma laat gaan, blijft toch de kleur onveranderd.

Volgens NEWTON geeft men aan het enkelvoudige licht ook wel den naam van *homogeen licht.*

Het witte licht kan weder worden zamengesteld uit de enkelvoudige kleuren van het spectrum. Zoo men het spectrum opvangt met eene lins *l*, dan worden de verschillend gekleurde stralen door deze vereenigd in een punt *f*; en zoo men dan hier het zonnebeeld opvangt op een mat geslepen glas of op een papieren scherm, dan doet het zich weder schitterend wit voor, niettegenstaande er verschillend gekleurde stralen op de lins vielen. Zoo men het scherm niet in het brandpnnt houdt, maar op grooteren afstand van de lins, dan verkrijgt men weder een omgekeerd zonnebeeld *r'u'*, — een bewijs, dat de verschillend gekleurde stralen zich in het punt *f*, overkruischen, en zoo men in *f* eenen spiegel aanbrengt, dan stellen de teruggekaatste stralen eveneens weder een spectrum *u" r"* daar. 129

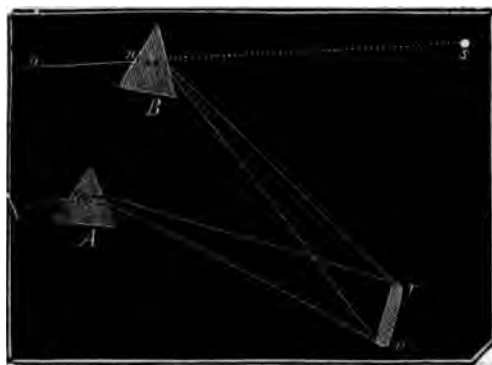
Fig. 288.



Tot deze proeven kan men zich ook, in de plaats eener lins, van eenen verzamelings-spiegel bedienen.

Dat de gezamelijke prismatische kleuren eene witte kleur daarstellen, blijkt uit de zeer verrassende, eveneens door NEWTON aangegevene, proeve, dat het lange prismatische kleurenbeeld, door een tweede prisma gezien, onder daartoe gunstige omstandigheden zich wederom als eene ronde schijf voordoet. In Fig. 289 zij *r v* een spectrum, hetwelk, door het prisma *A* voortgebragt, op eenen witten wand is opgevangen. Zoo nu een tweede prisma *B* zoodanig geplaatst wordt, dat het op dezelfde plaats hetzelfde spec-

Fig. 289.



trum *r v* zou daarstellen, in het geval dat er op dit prisma een zonnestraal in de rigting *o n* viel, dan is het duidelijk, dat ook de stralen, die van het spectrum op het prisma *B* vallen, in de rigting *n o* zullen uittreden. Het oog in *o* moet derhalve in de rigting *o n s* een rond wit beeld van het gekleurde spectrum zien. De plaatsing, welke men aan het prisma *B* moet geven, is gemakkelijk door proefneming te vinden.

Zoo men eene cirkelvormige schijf in zeven sectoren verdeelt, en deze met kleuren beschildert welke zooveel mogelijk met de prismatische overeenkomen, dan doet de schijf bij ronddraaijing zich niet meer gekleurd voor, maar witachtig, en zij zou geheel en al wit schijnen, zoo de verschillende sectoren met de zuivere prismatische kleuren konden bedeeld worden, en zoo de breedte van ieder dier gekleurde gedeelten tot die der anderen, in dezelfde evenredigheid stond, als de breedte van ieder gedeelte van het spectrum. Ten einde, ingevolge dit beginsel, zuivere prismatische kleuren te kunnen verkrijgen, heeft MUENCHOW het prisma met een uurwerk in verband gebragt, ten einde daardoor aan het prisma eene snelle slingerende beweging mede te deelen. Door deze beweging van het prisma gaat nu ook het op een scherm opgevangen spectrum snel heen en weder, en op deszelfs plaats doet zich dan, in de plaats van het gekleurde spectrum, een witte lichtstreep voor, die zich nog slechts aan de einden eenigzins gekleurd voordoet. Het oog ontvangt namelijk op ieder punt van het scherm, kort na elkander, de indrukken van iedere kleur in het bijzonder, deze afzonderlijke indrukken worden verward, en brengen zoo de gewaarwording van wit voort.

130 **Over de aanvullingskleuren en de natuurlijke kleuren der ligchamen.** Naardien al de enkelvoudige kleuren, in eene behoorlijke verhouding (d. i. eene zoodanige verhouding als het spectrum geeft) met elkander vereenigd, wit licht daarstellen, is het voldoende, om eene of meer der enkelvoudige kleuren te onderdrukken of slechts derzelver verhouding tot de andere te veranderen, om uit het wit de eene of andere kleur te vormen. Wanneer men b. v. in het witte licht de roode kleur van het spectrum onderdrukt, terwijl alle andere kleuren onveranderd blijven, dan zal men eene blaauwachtige kleur verkrijgen, bij welke men slechts weder rood behoeft te voegen, om de witte kleur te herstellen. Twee kleurschakeringen, welke aan deze voorwaarde voldoen, d. i. die te zamen genomen wit geven, heeten *aanvullings-*, *complementaire* kleuren. Iedere kleur heeft eene complementaire kleur, want zoo zij niet wit is, ontbreken haar bepaalde lichtstralen om het wit daar te stellen, en deze ontbrekende stralen, bij de andere gevoegd, stellen de witte kleur daar. Het violet, hetwelk meer of minder in het roode overgaat, is de complementaire kleur der verschillende groene kleuren. Wij hebben boven gezien, dat eene oplossing van zwavelzuur indigo, in een prisma gebragt, van witte voorwerpen een

rood en een blaauw beeld geeft. Het roode beeld is zeer scherp begrensd; het blaauwe niet, maar gaat eenigzins in violet en ook een weinig in het groen over. Aan het door eene indigo-oplossing heen gegaan licht, ontbreekt derhalve het geel en het oranje volkomen, voorts bijna al het groen en een weinig van de violette kleur. Deze ontbrekende kleuren zamen genomen stellen nu een mengsel daar, in hetwelk het geel aanmerkelijk overheerscht; het geel is derhalve de aanvullingskleur voor het blaauw der indigo-oplossing, — zoo als dan ook in het algemeen de gele kleurschakeringen de complementaire kleuren van blaauw zijn. Hoe meer het blaauw in het groen overgaat, des te meer zal het complementaire geel tot rood overgaan.

Wij zullen later nog dikwijls gelegenheid vinden, om over de complementaire kleuren te handelen.

Het prisma, hetwelk ons gediend heeft om het zonnelicht te ontbinden, dient ons ook, om de natuurlijke kleuren der ligchamen te ontleden. Men behoeft daartoe slechts van de te onderzoeken gekleurde ligchamen smalle strooken af te snijden, en deze door het prisma te beschouwen.

Met dit doel plakt men op een zwart papier eene reeks van gekleurde papierstrookjes, die ongeveer 1 millim. breed zijn, ten naastenbij zoodanig als men in Fig. 290 ziet. 1 zij wit, 2 geel, 3 oranje, 4 hoogrood, 5 groen en 6 blaauw; men kan daartoe gebruik maken van het gekleurde papier, waarop de boekbinders den titel der boeken, op den rug derzelve, plaatsen, omdat dit papier zeer verzadigde fraaije kleuren bezit. Wanneer men nu deze gekleurde strooken op den afstand van eenige voeten beschouwt door een prisma, welks as evenwijdig loopt met de overlangsche rigting der strooken, dan ziet men ze natuurlijk van plaats veranderd, doch te gelijker tijd zijn al deze kleuren in hare oorspronkelijke kleuren ontbonden. Het witte papier geeft een volkomen spectrum met alle kleuren, van het rood tot het violet. Het kleurenbeeld van het gele papier komt het naast bij het volkomene spectrum. Rood, oranje en geel zijn aanwezig, en alleen het onderste blaauwe en violette uiteinde van het kleurenbeeld ontbreekt; aan de kleur van het gele papier ontbreekt derhalve slechts blaauw en violet, om wit daar te stellen. Het kleurenbeeld der papier-strook 3 (oranje) is reeds veel minder volkomen; want hier ontbreken, behalve de violette en blaauwe stralen, ook nog de groene. Het kleurenbeeld van strook N°. 4 is het kleinste, daar het, behalve het rood, nog slechts een weinig oranje aanbiedt; het roode van dit papier is derhalve bijna zuiver prismatisch rood. — In de kleuren van de tot hiertoe beschouwde papier-strooken was

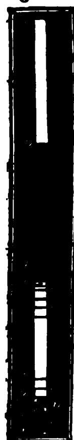
Fig. 290.



rood bevat; de grenzen van deze vier kleurenbeelden vallen derhalve van boven in eene regte lijn te zamen, terwijl zij van onder trapsgewijs verkort zijn. De kleuren der papier-strooken 5 en 6 echter (groen en blaauw) bezitten slechts zeer weinig rood, het roode uiteinde van haar kleurenbeeld ontbreekt derhalve bijkans geheel, en daarvan komt het ook, dat deze beide kleurenbeelden zich veel meer afgebogen voordoen, dan het kleurenbeeld van het roode papier.

Indien men niet eene smalle witte, maar eene breede papierstrook door het prisma beschouwt, dan doet deze zich in het midden wit en slechts aan de randen gekleurd voor. Gesteld, men beschouwe de witte papier-strook *a b*, Fig. 291, door een prisma, welks as regthoekig staat op de overlangsche rigting van het papier, dan zullen de verschillend gekleurde beelden van het spectrum ten deele over elkander vallen. Het roode beeld der strook strekke zich b. v. van *r* tot *r'* uit, het oranje van *o* tot *o'*, het geel van *g* tot *g'* enz. en het violet eindelijk van *v* tot *v'*, dan is het duidelijk, dat er tusschen *v* en *r'* beelden van alle prismatische kleuren zamenkomen, en de geheele ruimte van *v* tot *r'* moet zich derhalve wit voordoen. Tusschen *r* en *o* is slechts rood licht, tusschen *o* en *g* rood en oranje, tusschen *g* en *gr* rood, oranje en geel; en het roode uiteinde van het beeld zal derhalve in eene geelachtige schakering overgaan. Bij de drie genoemde kleuren komt nu op de naastaanvolgende plaats nog groen, vervolgens blaauw enz. Het boveneinde van het beeld is derhalve rood, en gaat langzamerhand door het gele heen in het wit over.

Fig. 291.



Het andere uiteinde van het beeld is violet, en gaat door het blaauwe heen in wit over.

Hetgeen hier gezegd is van de witte papier-strooken, geldt voor ieder wit voorwerp van meerdere uitgebreidheid, hetwelk men door een prisma beschouwt: het doet zich enkel aan de randen gekleurd voor.

Eene breede zwarte strook op eenen witten grond biedt, door een prisma beschouwd, juist de omgekeerde verschijnselen aan; want het prismatische kleurenbeeld vertoont zich namelijk aan het uiteinde, hetwelk het meest van de rigting is afgeweken, met eenen violetten en blaauwen rand, doch het andere einde met eenen rooden en gelen rand. Ter verklaring hiervan behoeft men slechts te bedenken, dat de kleuren niet afkomstig zijn van de zwarte strook zelve, maar van de witte ruimten, welke haar begrenzen. Zoo de zwarte strook zelve zeer smal is, dan verdwijnt in het beeld het zwart uit het midden volkomen.

131 **Over het verstrooijende vermogen van verschillende zelfstandigheden.** De uiteenvloeijing der verschillend gekleurde lichtstralen, die door een prisma wordt bewerkt, wordt *kleur-verstrooijing* of *dispersie* genoemd. Het verstrooijings-vermogen eener zelfstandig-

heid is des te grooter, hoe grooter het verschil is tusschen de brekings-exponenten der roode en violette stralen.

Voor water is de brekings-exponent der roode stralen 1,330, die van de violette stralen 1,344, en het verschil van deze beide breking-exponenten is derhalve 0,014.

Voor flintglas is de brekings-exponent der roode en violette stralen 1,628 en 1,671 het verschil is dus 0,043, en is bijgevolg driemaal grooter dan van het water.

Zoo men derhalve een prisma van water vervaardigt, hetwelk, behoorlijk gesteld, de roode stralen even zoo sterk doet afwijken als een prisma van flintglas, dan zal toch de breedte van het kleurenbeeld van flintglas driemaal grooter zijn dan het spectrum van het water-prisma; immers het verstrooijings-vermogen van het flintglas is driemaal grooter dan dat van het water.

Voor crownglas is het verschil tusschen de brekings-exponenten der roode en violette stralen slechts ten naastenbij half zoo groot als voor flintglas, en het verstrooijings-vermogen van het flintglas is daarom de helft grooter dan dat van het crownglas, ofschoon de brekings-exponenten van beide glas-soorten elkander zeer nabij komen.

Men noemt de prismen *achromatisch*, wanneer zij de eigen- 132
schap bezitten, om de lichtstralen af te buigen, zonder ze te gelijk in hare kleuren te ontbinden; *achromatische linzen* zoodanige, voor welke de brandpunten der verschillend gekleurde stralen naauwkeurig zamenvallen, door welke men dus de voorwerpen vrij van gekleurde stralen ziet. Langen tijd hield men het *achromatisme* voor onmogelijk, d. i. men meende, dat het licht niet kon afgebogen worden, zonder ontbonden te worden. Zelfs NEWTON was van deze meening, daar hij geloofde, dat de dispersie altijd evenredig is aan het lichtbrekende vermogen der ligchamen. De mogelijkheid of onmogelijkheid van het achromatisme was langen tijd het twistpunt van de uitstekendste geleerden, zoo als EULER, CLAIRAUT en D'ALEMBERT. In der daad had reeds HELL in het jaar 1733 wezenlijk achromatische verrekijkers vervaardigd, maar hij deelde zijne uitvinding niet mede; DOLLOND vond ze eveneens uit in 1757, en maakte dezelve bekend. De ontdekking van DOLLOND was ongetwijfeld voor de sterrekunde eene zaak van het hoogste belang, doch om dezelve hare volkomene waarde te doen erlangen, moest eerst nog de mathematische theorie van het achromatisme ontwikkeld worden, zonder welke de noodige verbeteringen in de praktijk niet mogelijk waren. Tegenwoordig nog, nadat er reeds zoo vele vorderingen in de optica en in de vervaardiging der glazen zijn gemaakt, bij al de hulpmiddelen welke den natuurkundigen voor zijne berekeningen ten dienste staan, behoort het achromatisme toch nog, zoowel in theorie als in praxi tot een der moeijelijkste punten. Wij kunnen hier natuurlijk slechts de beginselen ontwikkelen, op welke de constructie van achromatische prismen en linzen berust.

Wanneer men twee prismen *A* en *B* zoodanig plaatst, dat de brekende kanten naar tegenovergestelde zijden gerigt zijn, dan zal de werking van het eene meer of minder volkomen worden opgeheven door die van het andere. De door *A* te weeg gebragte kleursverstrooijing zal natuurlijk worden opgeheven door het prisma *B*, wanneer, onder overigens gelijke omstandigheden, ieder der beide prismen op zich zelf een even zoo groot spectrum geeft als het andere; want in dit geval is de werking van het prisma *B*, ten opzigte der kleurverstrooijing, volkomen gelijk en tegenovergesteld aan die van het prisma *A*.

Fig. 292.



In gevalle de dispersie wezenlijk evenredig ware aan het brekings-vermogen, gelijk NEWTON zulks geloofde, dan zouden twee prismen van verschillende zelfstandigheden slechts dan gelijke spectra kunnen geven, zoo ook de door het eene prisma te weeg gebragte afbuiging gelijk ware aan die van het andere; — wanneer derhalve zulke prismen zoodanig waren zamengesteld, als in Fig. 292 is afgebeeld, dan zou hierdoor voorzeker de kleurverstrooijing, doch daarmede ook de afbuiging worden voorkomen.

Nu is echter, gelijk reeds gezegd is, uit latere proeven gebleken, dat de meening van NEWTON onjuist was; zoo is b. v. de dispersie in flintglas aanmerkelijker dan bij crownglas, terwijl toch de gemiddelde brekings-exponenten van beide glassoorten niet zoo zeer verschillen; bij gelijke afbuiging is het spectrum van een prisma van flintglas tweemaal grooter, dan dat hetwelk door een prisma van crownglas wordt daargesteld.

Indien de brekende hoek der prismen niet al te groot is, kan men zonder dat zulks een merkelijk verschil maakt, aannemen, dat de breedte van het kleurenbeeld evenredig is aan den brekenden hoek. Gesteld nu, men hebbe een prisma van crownglas van 25°, dan kan men gemakkelijk den hoek berekenen van een prisma van flintglas, welke dezelfde kleurverstrooijing geeft. Daar de dispersie van het flintglas, tweemaal grooter is dan die van het crownglas, moet ook de brekende hoek van het prisma van flintglas de helft kleiner, derhalve ongeveer 12½° zijn. De kleurverstrooijing van een prisma van flintglas van 12½° is even groot, als die van een prisma van crownglas van 25°; en twee zoodanige prismen derhalve, zamengesteld als in Fig. 292, zullen geene kleurverstrooijing te weeg brengen.

Doch naardien de brekings-exponenten der beide glassoorten over het algemeen zeer weinig van elkander verschillen, zal de afbuiging der prismen *A* en *B* zich ten naastenbij verhouden als hunne brekende hoeken; de afwijking, die door *A* wordt voortgebragt, is bijna de helft grooter dan de door *B* voortgebragte, het prisma *B* kan derhalve de door *A* te weeg gebragte afbuiging slechts ongeveer op de helft wegnemen, en

de bijeenvoeging der prismen *A* en *B* zal derhalve nog eene afbuiging, maar geene kleurverstrooijing bewerken.

Iedere enkelvoudige lins, uit welke stof zij ook gevormd zijn moge, zal voor iedere andere wijze van stralen verspreiding ook een ander brandpunt bezitten, omdat de brekings-exponenten der verschillend gekleurde stralen niet gelijk zijn. Het brandpunt van de roode stralen ligt op grooteren afstand van de lins, dan dat der violette stralen. De brandpunten der roode en violette stralen vallen niet bij alle linzen even ver van elkander; want dit is namelijk eensdeels afhankelijk van de kromming der linzen, en anderendeels van het verstrooijings-vermogen der gebezigde zelfstandigheid. Wanneer de kromming der lins van het midden tot aan den rand onbeduidend is, dan naderen ook de brandpunten voor de verschillende kleuren meer tot elkander.

Ten gevolge der hier vermelde omstandigheid, zijn de beelden van zoodanige linzen meer of minder onzuiver, meer of minder door gekleurde randen omgeven. Hiervan kan men zich gemakkelijk overtuigen, zoo men door eene sterk gewelfde lins, b. v. de letters van een boek beschouwt, of door eene zoodanige lins het beeld van verwijderde voorwerpen op eene matte glazen plaat overbrengt; men zal dan alles omgeven zien door gekleurde randen. Naardien daardoor evenwel de zuiverheid der beelden in mikroskopen, gelijk mede bij verrekijkers, zeer verminderd wordt, was de ontdekking der zamenstelling van achromatische linzen van het grootste belang voor de praktijk der optica.

Het achromatisme der linzen berust op dezelfde gronden als het achromatisme der prismen; achromatische linzen zijn zamengesteld uit enkelvoudige linzen van verschillende glassoorten. Gewoonlijk is eene lins van crownglas zamengevoegd met eene lins van flintglas.

De werking der linzen op verschillend gekleurde stralen is van dien aard, dat eene verzamelingslins de violette stralen sterker doet convergeren, doch eene holle lins ze sterker doet divergeren dan de roode stralen; men kan daarom wel begrijpen, hoe door de zamenstelling van eene holle lins met eene verzamelingslins de kleurschifting geheel en al kan worden opgeheven, en wanneer nu de beide linzen uit verschillende glassoorten zijn vervaardigd, is het mogelijk om de kleurverstrooijing te voorkomen, zonder dat daarom ook de breking ophoudt.

Fig. 293.



Indien eene verzamelingslins van crownglas en eene holle lins van flintglas eene even belangrijke kleurschifting bewerken, dan zullen beide te zamen in het geheel geene kleurschifting te weeg brengen; doch daar het flintglas veel sterker kleurschif-

tend is, zal eene holle lins van flintglas, welke de kleurschifting eener verzamelingslins van crownglas belet, toch niet in staat zijn om het, door de verzamelingslins bewerkte zamenloopen der stralen geheel en al weg te nemen, en de beide linzen te zamen zullen derhalve nog werken als eene verzamelingslins, terwijl de kleurschifting is opgeheven, en zij stellen derhalve eene achromatische lins daar.

VIERDE HOOFDSTUK.

Over het oog en de optische werktuigen.

133 De gewaarwording van het licht en der kleuren is het gevolg eener aandoening van bijzondere zenuwen, wier fijne uiteinden zich onder den vorm van een zenuwvlies uitbreiden. De gewaarwording van het duister ontstaat door eene volkomene rust van dit zenuwvlies, terwijl terwijl daarentegen door alle prikkels de gewaarwording van licht wordt opgewekt; en bijzonderlijk wordt deze prikkel te weeg gebragt door de lichtstralen, welke de ligchamen der buitenwereld op het bovengemelde zenuwvlies, het *netvlies*, werpen, ofschoon ook de gewaarwording van licht en kleuren door andere oorzaken, zonder medewerking der van buiten afkomstige lichtstralen, mogelijk is, b. v. door de drukking van het bloed (het flikkeren voor de gesloten oogen). Eene uitwendige drukking op het gesloten oog, eene electrische ontlading zijn eveneens in staat, om de gewaarwordingen van licht te weeg te brengen.

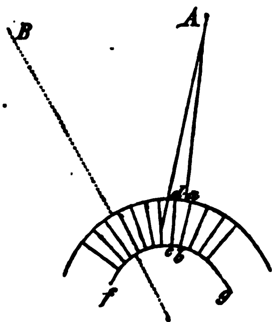
Ter onderscheiding van uitwendige voorwerpen door het gezigt, is het niet genoeg, dat de van een ligchaam afkomstige lichtstralen op het netvlies vallen, maar er zijn bijzondere toestellen noodig, ten einde te bewerken, dat de van een lichtend punt uitgaande stralen slechts eene bepaalde plaats van het netvlies treffen, en dat de van andere punten afkomstige lichtstralen van deze plaats worden afgeweerd; op deze wijze worden de onderscheidene gedeelten van het netvlies verschillend aangedaan, en daardoor wordt het mogelijk om de voorwerpen te onderscheiden. Wanneer zoodanige toestellen ontbreken, zoo als dit het geval is met vele lagere diersoorten, dan is geen eigenlijk zien mogelijk, maar enkel de onderscheiding van licht en donker, van dag en nacht; doch zelfs nog voor zulk eene ontwaring van licht zijn er nog bijzondere zenuw-toestellen noodig.

Niet bij alle diersoorten, bij welke het eigenlijke zien plaats grijpt zijn de toestellen, ter onderscheiding der indrukken van het licht bestemd, op dezelfde wijze ingerigt; men onderscheidt twee wezenlijk verschillende soorten van oogen, namelijk: 1°. de *musivisch zamengestelde oogen* der insecten en crustacea, en 2°. de *met verzamelingslinzen voorziene oogen* der gewervelde dieren.

Zamengestelde oogen. Eerst door de klassieke onderzoekingen 134
van MUELLER zijn de *musivisch zamengestelde* oogen [1]) beter bekend geworden. Op het bolle netvlies is eene groote menigte doorzigtige kleine kegels regthoekig gesteld, en enkel die lichtstralen kunnen de basis van eenen zoodanigen kegel op het netvlies bereiken, welke in de rigting der as van dezen kegel invallen. Al het ter zijde invallende licht wordt opgeslorpt, omdat de zijwanden des kegels met een zwart pigment zijn overtogen. In Fig. 294 zij *f c b g* eene doorsnede van het bolle netvlies met de daarop geplaatste doorzigtige cilinders, dan is het duidelijk, dat de van het lichtende punt *A* uitgaande stralen enkel in *c b*, de basis van den afgeknotten kegel, *a b c d* op het netvlies kunnen komen; reeds de basis der beide naast *a b c d* liggende kegels wordt niet meer door de van *A* afkomstige stralen getroffen; een lichtend punt *B* zendt zijne stralen weder naar eene andere plaats van het netvlies, enz. Op de basis van eenen zoodanigen doorzigtigen kegel zal natuurlijk al het licht inwerken, hetwelk afkomstig is van punten, die in de verlenging van den kegel gelegen zijn, en tevens zullen de indrukken van al de punten, welke hun licht naar de basis van denzelfden kegel zenden, zich onderling vermengen, en daaruit kan men gemakkelijk opmaken, dat het beeld op het netvlies des te duidelijker wordt, hoe grooter het aantal der kegels is. Zeer voortreffelijk beschrijft MUELLER het zien met zulke oogen, waar hij zegt: „De vorming van het beeld op vele duizende afzonderlijke punten, van welke ieder aan een klein gezigtsveld der buitenwereld beantwoordt, gelijkt op een mozaïk, en men kan zich uit een kunstig mozaïk de beste voorstelling vormen van het beeld, hetwelk de schepselen met een zoodanig orgaan voorzien, van de buitenwereld erlangen moeten."

De grootte van het gezigtsveld van zoodanige oogen is natuurlijk afhankelijk van den hoek, dien de assen der buitenste kegels met elkander maken, en dus van de welving der oogen. Het doorzigtige vlies hetwelk het geheele oog van buiten bekleedt, het *hoornvlies*, is gewoonlijk verdeeld in vakken, of facetten, en iedere facette beantwoordt aan eenen der boven beschrevene kegels. Het aantal facetten van een zoodanig oog is gewoonlijk zeer groot; want een enkel oog levert dikwijls 12—20 duizend zulke facetten.

Fig. 294.



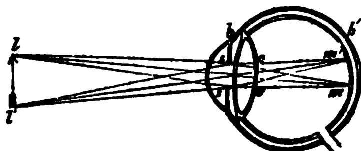
Niet alle insecten hebben zulke musief zamengestelde oogen; want de spin-

[1]) Physiologie des Gesichtsinnes 1826, en Handb. der Physiol. d. Menschen, 1837.

nen b. v. hebben enkelvoudige linsvormige oogen, die even zoo zijn zamengesteld als de oogen der gewervelde dieren; ja men vindt zelfs vele insecten, die, behalve de musief zamengestelde oogen, ook nog enkelvoudige linsvormige oogen bezitten, welke echter, voor zoo verre men uit derzelver bouw en plaatsing kan nagaan, enkel bestemd zijn voor het zien van zeer nabij gelegen voorwerpen.

135 **Enkelvoudige oogen met verzamelingslinzen.** Op het netvlies der oogen, welke met verzamelingslinzen zijn voorzien, ontstaat het beeld volkomen op dezelfde wijze, als de verzamelingsbeelden der gewone linzen. De stralen, welke, van eenig punt van het voorwerp afkomstig, op de voorste oppervlakte van het oog vallen, worden namelijk door de doorzigtige middelstoffen van het oog naar een punt van het netvlies gebroken. In Fig. 295 zij de doorsnede van een menschen-oog voorgesteld. De geheele oogbal is omgeven door een vast, hard vlies, dat enkel aan de voorste oppervlakte doorzigtig is; dit doorzigtige gedeelte wordt het *hoornvlies* (cornea) genoemd, terwijl het witte ondoorzigtige gedeelte den naam draagt van *harde oogrok* (tunica sclerotica); het doorzigtige hoornvlies is sterker gewelfd dan het overige gedeelte van den oogbal. Achter het hoornvlies ligt het *regenboogvlies* (iris), dat vlak is, en de kromming der cornea als het ware van het overige gedeelte van het oog afsnijdt. In het midden van het regenboogsvlies, bij *s s'* is eene cirkelronde opening, die, van voren gezien, zich volkomen zwart voordoet (*het zwart van het oog*); deze opening draagt den naam van *oogappel.* Achter de iris en de pupil vindt men de *kristallins* (lens cristallina); deze is bevat in een doorzigtig bekleedsel, door hetwelk zij ook aan den uitwendigen wand, den oogrok, bevestigd is. Tusschen de lens en het hoornvlies vindt men eene heldere, eenigzins ziltige vloeistof, het *waterachtige vocht* (humor aqueus), terwijl daarentegen de geheele ruimte achter de lens gevuld is met eene doorzigtige geleiachtige zelfstandigheid, het *glasvocht* (humor vitreus). De kristallins zelve is van voren platter dan van achteren.

Fig. 295.



Langs de binnenvlakte der sclerotica is het *adervlies* (tunica choroidea) uitgespreid, en hierop eindelijk ligt het *netvlies* (retina), hetwelk enkel de verspreiding van de gezigtszenuw is. Het adervlies, hetwelk de geheele inwendige oppervlakte van het oog bekleedt, is met eene zwarte kleurstof (zwart pigment) overdekt. Deze zwarte kleuring is noodzakelijk, om te voorkomen dat, met de terugkaatsing der stralen binnen in het oog, de zuiverheid der beelden gestoord worde. Om deze zelfde reden worden ook de verrekijkers van binnen zwart gekleurd.

De lichtstralen, welke op het oog vallen, komen of op het voorste gedeelte der sclerotica, het *wit* van het oog, en worden onregelmatig naar alle zijden verstrooid, of zij dringen door het hoornvlies in het oog; de buitenste der door het hoornvliës ingetreden stralen vallen op de iris, en worden naar alle zijden heen onregelmatig verspreid, waardoor de kleur van het regenboogvlies zigtbaar wordt. De centrale stralen eindelijk vallen door de pupil op de kristallins, door welke zij naar de zijde der retina worden gebroken, en wel zoodanig, dat de van eenig punt van een uitwendig voorwerp afkomstige stralen, die door de pupil heen gaan, op één punt van het netvlies weder vereenigd worden. Op deze wijze ontstaat er op het netvlies een beeld van de voor het oog aanwezige voorwerpen. In Fig. 295 is b. v. *m* het beeld van het punt *l*, *m'* het beeld van *l'*.

Door proefneming met een eenigzins groot oog van eenig dier, b. v. van eenen os of een paard, kan men zich gemakkelijk overtuigen, dat er op het netvlies werkelijk een klein omgekeerd beeld van de voor het oog aanwezige voorwerpen ontstaat. Men behoeft zoodanig oog slechts van boven met voorzigtigheid te openen, om door het glasvocht heen op het netvlies te kunnen zien; ingeval hel oog gerigt is op een helder verlicht voorwerp, b. v. op een venster, dan ziet men op het netvlies duidelijk een klein omgekeerd beeldje daarvan. Het gemakkelijkste kan men dit beeldje aantoonen bij witgekleurde dieren, b. v. bij witte konijntjes, bij welke de zwarte kleurstof van het adervlies ontbreekt, terwijl te gelijker tijd het achterste gedeelte der sclerotica doorzigtig is. Op zoodanige wijze kan men, zonder verdere praeparatie, de netvlies-beelden aantoonen.

Duidelijk zien op verschillende afstanden. Reeds vroeger hebben 136
wij gezien, dat het beeld eener lins van plaats verandert, wanneer het voorwerp meer of minder nabij dezelve gebragt wordt; dat het beeld namelijk des te verder van het glas verwijderd wordt, hoe nader het voorwerp daarbij komt. Naardien nu het oog volkomen als eene lins werkt, aangezien wij immers de voorwerpen slechts dan scherp kunnen zien, wanneer de vereenigingspunten der gebrokene stralen juist op het netvlies vallen, en er daardoor een duidelijk beeld op het netvlies ontstaat, zou men meenen, dat wij slechts op eenen bepaalden afstand de voorwerpen duidelijk zouden kunnen zien; doch de ondervinding leert evenwel het tegendeel, want een gezond oog kan al de voorwerpen duidelijk zien, welke op meer dan 8 duimen afstands zijn, en derhalve moet het oog natuurlijk het vermogen bezitten, om zich naar de verschillende afstanden te schikken, te *accommoderen.*

Door eene zeer eenvoudige proef kan men dit ook bewijzen: Op eene doorzigtige glazen plaat make men eene zwarte vlek, en houde dan de plaat op eenen afstand van 10 à 12 duim van het oog, dan kan men naar willekeur de vlek, of, door

de glazen plaat heen, het meer verwijderde voorwerp duidelijk zien. Zoo men de meer verwijderde voorwerpen duidelijk ziet, dan doet de vlek zich nevelachtig en onduidelijk voor; terwijl daarentegen de ver verwijderde voorwerpen in elkander versmolten schijnen, zoo men de vlek duidelijk ziet. Wanneer derhalve de verwijderde voorwerpen zich duidelijk voordoen, dan worden de stralen, welke van de donkere vlek uitgaan, niet op het netvlies vereenigd, en omgekeerd; bij gevolg bezit het oog het vermogen, om zich te schikken voor het zien van verre en in de nabijheid.

Indien de stralen, welke van een lichtend punt uitgaan, vóór of achter het netvlies vereenigd worden, dan wordt er op het netvlies, in de plaats van het heldere verlichte punt, een kleine verstrooijingscirkel gevormd; en dit is de oorzaak, waarom voorwerpen, die zich op eenen afstand bevinden, voor welken het oog niet juist geaccommodeerd is, onduidelijk gezien worden. Het *accommodatie-vermogen* heeft evenwel zijne grenzen, want wanneer de voorwerpen al te digt voor het oog gebragt worden, dan zijn de veranderingen, voor welke het oog vatbaar is, niet meer voldoende, om te maken, dat het beeld op het netvlies valt; in dit geval liggen de vereenigingspunten achter het netvlies, en op het netvlies zelf worden er, in de plaats van een scherp beeld, verstrooijingskringen van de afzonderlijke lichtende punten gevormd; zoodat het niet meer mogelijk is, om dezelve duidelijk te onderscheiden. Den knop eener speld b. v., welken men slechts 1 à 2 duim ver van het oog verwijderd houdt, kan men niet duidelijk zien.

Naardien de vereenigingswijdte der stralen van de lins zich verder af begeeft, wanneer de voorwerpen nader bij dezelve komen, zou men het duidelijk zien op verschillende afstanden kunnen verklaren uit de veronderstelling, dat de lengte der as van het oog willekeurig zou kunnen vergroot of verkleind worden. Voor nabij zijnde voorwerpen zou dan de oogas langer moeten zijn dan voor verwijderde voorwerpen, of, met andere woorden, voor nabij zijnde voorwerpen zou de afstand tusschen het netvlies en het hoornvlies grooter moeten zijn. Olbers heeft berekend, hoe groot de verlenging der oogas zou moeten zijn, om het duidelijk zien, op eenen afstand van 4 duim tot op eenen oneindigen afstand, te verklaren. Uit deze berekeningen zijn de cijfers der onderstaande tabel getrokken:

Afstand van het voorwerp.	Afstands des beelds van het hoornvlies.
Oneindig.	0,8997 duim.
27 duim.	0,9189 „
8 „	0,9671 „
4 „	1,0426 „

Dienvolgens zou, bij onveranderde kromming van de lins en van het hoornvlies, eene verlenging der oogas van slechts ongeveer 1 lijn voldoende zijn, om het duidelijk zien van 4 duim tot op eenen oneindigen afstand te verklaren.

Zoo men het accommodatie-vermogen wilde verklaren uit eene verandering der kromming van het hoornvlies, dan zou men, ingevolge de berekeningen van OLBERS, de navolgende wijzigingen krijgen:

Afstand van het voorwerp.	Straal van het hoornvlies.
Oneindig.	0,333 duim.
27 duim.	0,321 „
20 „	0,303 „
5 „	0,273 „

Indien derhalve de diameter van de kromming van het hoornvlies slechts van 0,333 tot 0,300 veranderde, en de as van het oog slechts $\frac{1}{3}$ lijn verlengd en verkort kon worden, dan zou daaruit het accommodatie-vermogen van het oog voor alle afstanden, van 4 duim tot op oneindigen afstand, verklaard kunnen worden.

Ofschoon men nu ook door eene zoodanige veronderstelling het accommodatie-vermogen van het oog kan verklaren, is evenwel de juistheid dezer meening nog volstrekt niet bewezen; zelfs zijn er eene menigte tegenwerpingen tegen dezelve aangevoerd, en althans is eene zoo aanmerkelijke verandering der welving van het hoornvlies vrij onwaarschijnlijk.

Andere physiologen nemen eene zamendrukking en verplaatsing van de kristallins te baat, ter verklaring van het accommodatie-vermogen; deze nu zijn wel mogelijk, doch niet bewezen. Welligt is het accommodatie-vermogen toe te schrijven aan de zamenwerking van alle tot hiertoe vermelde oorzaken.

Afstand van het duidelijk zien, kortzigtigheid en verzigtigheid. Reeds boven is vermeld geworden, dat men de voorwerpen, welke al te digt bij het oog worden gebragt, in het geheel niet meer duidelijk kan zien. Voor ieder oog bestaat er een bepaalde afstand, binnen welken men de voorwerpen niet bij het oog mag brengen, zoo men ze zonder inspanning nog duidelijk zal zien. Op dien afstand, die de afstand van *duidelijk zien*, of ook wel *gezigts-wijdte* genoemd wordt, houdt men onwillekeurig de boeken, welke met letters van de gewone grootte gedrukt zijn. Zoo men de voorwerpen naderbij brengt, dan kan men ze slechts met inspanning duidelijk zien, en bij nog korteren afstand eindelijk, is het duidelijk zien volstrekt niet meer mogelijk. Voor een volkomen gezond oog bedraagt de afstand van duidelijk zien 8 à 10 duimen. Oogen, wier gezigtswijdte kleiner is, noemt men kortzigtig, en wanneer de gezigtswijdte grooter is, *verzigtig*. 137

Het onduidelijk zien van zeer nabij zijnde voorwerpen is, gelijk reeds vermeld werd, daarvan afhankelijk, dat de stralen, welke van eenig punt van het nabij zijnde voorwerp uitgaan, zoo aanmerkelijk divergeren, dat de brekende middelstoffen van het oog niet in staat zijn om ze zoo sterk te doen convergeren, dat zij op het netvlies zich zouden kunnen vereenigen. Daar de vereeniging in dit geval plaats grijpt achter het netvlies, doen zij zich met eenen verstrooijingskring omgeven voor. Indien men nu middelen bezit, om de vorming van dezen verstrooijingscirkel tegen te gaan, dan kan men zelfs voorwerpen, welke zeer nabij het oog zijn, nog duidelijk zien.

Men make daartoe met eene speld een klein gaatje in een kaartenblad, en houde dit digt vóór het oog, dan zal men door dit gat de letters van een zeer digt vóór het oog gehouden boek nog volkomen duidelijk zien, en wel aanmerkelijk vergroot; terwijl het na de verwijdering van het kaartenblad volstrekt niet meer mogelijk is, om eene letter te onderscheiden. De reden daarvan is hierin gelegen, dat van een punt van het nabij zijnde voorwerp slechts in eene enkele rigting, door de fijne opening, lichtstralen in het oog kunnen dringen, die ook slechts op eene enkele plaats het netvlies zullen treffen; terwijl er, wanneer de overige stralen niet door het kaartenblad worden afgekeerd, van een punt van het voorwerp een geheele stralenbundel door de pupil in het oog geraakt, en dan op het netvlies eenen verstrooijingscirkel daarstelt.

Hiertoe behoort ook de belangwekkende en leerrijke proef van pater SCHEINER [1]). Zoo men met eene naald twee fijne gaatjes boort in een kaartenblad, op eenen kleineren afstand van elkander dan de diameter der pupil bedraagt, en deze openingen digt voor het oog houdt, dan ziet men een klein voorwerp, b. v. eenen speldenknop, dien men binnen de gezigtswijdte voor de openingen houdt, dubbel. Van het kleine voorwerp komen er namelijk twee zeer fijne bundels van lichtstralen door de beide openingen in het oog. Deze beide stralen convergeren nu naar een punt achter het netvlies, en treffen dus het netvlies op twee verschillende punten. Dit zijn twee geisoleerde punten van den verstrooijingscirkel, welke op het netvlies zou ontstaan, zoo niet de overige stralen door het kaartenblad werden opgevangen.

Indien men het kleine voorwerp meer en meer van het oog verwijdert, dan naderen de beelden elkander, omdat de beide lichtstralen, welke door de openingen in het oog komen, nu minder divergeren, en daarom gebroken worden naar een punt, hetwelk nader bij het netvlies ligt. Ingevalle men het voorwerp verwijderd heeft tot op den afstand van het duidelijk zien, dan vloeijen de beide beelden volkomen ineen, omdat al de stralen, welke van eenig punt uitgaan, hetwelk juist op den afstand van

[1]) Oculus, sive fundamentum opticum etc. 1652.

duidelijk zien van het oog verwijderd is, op een punt van het netvlies vereenigd worden.

Door eene fijne opening in een kaartenblad, hetwelk digt vóór het oog gehouden wordt, ziet men, zoo als zich begrijpen laat, de nabijzijnde en de ver verwijderde voorwerpen even duidelijk, zonder dat het noodig zij, dat het oog zich voor de afstanden accommodeert, daar immers reeds buitendien de stralen, welke van een punt van het voorwerp uitgaan, ook slechts het netvlies op een enkel punt treffen; door eene zoodanige opening kan men derhalve *gelijktijdig* nabijzijnde en verafgelegen voorwerpen duidelijk zien. Het is nu de vraag, in welken accommodatie-toestand het oog verkeert bij het zien door eene fijne opening? Natuurlijk is het oog in den normalen toestand, in welken in het geheel geene werkdadigheid vereischt wordt, en verkeert het in dien toestand, welke beantwoordt aan het zien van voorwerpen, welke zich op den afstand van het duidelijk zien bevinden.

Laat ons nu terugkeeren tot de proef van SCHEINER: Indien men naar een verder afgelegen voorwerp door de beide openingen ziet, dan moeten natuurlijk de van hetzelve afkomstige lichtstralen, welke door de beide openingen in het oog komen, reeds te zamen treffen op een punt vóór het netvlies, daar immers de accommodatie-toestand van het oog niet veranderd wordt. Achter het punt van overkruisching echter divergeren de beide stralen weder, zij treffen het netvlies op twee verschillende punten, en bij gevolg zal men ook verder gelegen voorwerpen dubbel zien. *Men ziet derhalve door de beide kleine openingen een klein voorwerp slechts dan dubbel, wanneer het zich op den afstand van duidelijk zien bevindt.*

Op de proeve van SCHEINER steunen werktuigen, welke ter bepaling van de gezigtswijdte moeten dienen, en den naam dragen van *optometers.*

De *kortzigtigheid* (myopia) en de *verzigtigheid* (presbyopia) zijn gebreken, wier oorzaak wel met de meeste waarschijnlijkheid te zoeken is in een gebrekkig accommodatie-vermogen, hetgeen vooral daaruit blijkt, dat de oefening eenen grooten invloed op deze gebreken uitoefent. Kortzigtigheid toch ontstaat dikwijls daardoor, dat het zien in de verte wordt nagelaten; en kinderen, welke bij het lezen en schrijven het gelaat te digt bij het papier houden, worden kortzigtig. Ook door het gedurende langen tijd voortgezette staren door een mikroskoop, wordt een overigens goed oog voorbijgaand kortzigtig, en deze toestand blijft dikwijls gedurende eenige uren aanhouden.

Het eenvoudigste middel, om de kortzigtigheid en de verzigtigheid te verbeteren bestaat, gelijk reeds is aangemerkt, daarin, dat men eene kleine, b. v. in een kaartenblad gemaakte opening digt voor het oog houdt. Door dit middel, hetwelk uit het tot hiertoe gezegde gemakkelijk te verklaren is, wordt de scherpte der beelden, ten koste der helderheid, hersteld.

Een tweede middel vindt men in de brillen-glazen, en men bezigt bij kortzigtige oogen holle glazen. Bij een kortzigtig oog vallen de beelden van verwijderde voorwerpen vóór het netvlies, en het oog bezit het vermogen niet om zich zoodanig te accommoderen, dat zij tot op het netvlies zelf worden gebragt. Men verandert daarom, door middel van voor het oog geplaatste holle glazen, deszelfs refractie-vermogen zoo zeer, dat de in het oog tredende lichtstralen minder sterk convergeren, en maakt het daardoor mogelijk, dat zij zich op het netvlies vereenigen.

Bij verzigtige oogen valt het beeld van nabijzijnde voorwerpen achter het netvlies, zonder dat het oog in staat is, om zich te schikken naar dit brekings-vermogen. Hier bezigt men derhalve bolle glazen, ten einde de lichtstralen meer te doen convergeren, en daardoor het vereenigings-punt van dezelve op het netvlies over te brengen.

Naar mate een oog meer of minder kortzigtig of verzigtig is, moet men sterker of zwakker glazen aanwenden. De glazen worden zoodanig gekozen, dat de afstand van het duidelijk zien, die òf grooter òf kleiner is dan bij een volkomen gezond oog, door de zamenwerking der glazen eveneens 8 à 10 duim bedraagt, en dus even groot is als bij het normale oog.

De kortzigtigheid komt het meest voor op middelbaren leeftijd; de verzigtigheid daarentegen op hooge jaren.

138 **Achromatismus van het oog.** Bij gewone linzen vallen de brandpunten der verschillend gekleurde lichtstralen niet zamen, en daaruit ontstaan de gekleurde kringen, welke men waarneemt aan den rand van de voorwerpen, welke door eene lins worden gezien, en zulks vooral dan, wanneer de lins groot is, en de voorwerpen zich niet in het midden van het gezigtsveld bevinden. Wij hebben boven reeds gezien, hoe men achromatische linzen kan daarstellen, d. i. zoodanige linzen, bij welke dit nadeel is weggenomen. Ons oog is nu eveneens een achromatisch werktuig, want wij zien de voorwerpen zuiver en zonder gekleurde randen.

Naardien het achromatisme der buizen wordt voortgebragt door de vereeniging van onderscheidene brekende zelfstandigheden van een ongelijk kleurverspreidend vermogen, kan men het achromatisme van het oog zich zeer goed begrijpen, daar immers een lichtstraal op zijnen weg door het oog drie verschillende middelstoffen na elkander moet doorloopen, welke drie middelstoffen te zamen op de wijze eener achromatische lins werken.

Het oog is evenwel niet volkomen achromatisch; want wij zien de voorwerpen slechts dan zuiver, wanneer het oog zich volkomen geaccommodeerd heeft voor eenigen afstand. Men ziet b. v. zeer levendig gekleurde randen aan eenig nabij gelegen voorwerp, zoo men langs hetzelve heen zijn oog op verder gelegene voorwerpen rigt, en deze duidelijk ziet: Zoo b. v.

indien dat men in een kaarteblad eene kleine opening van ongeveer 1 lijn diameter maakt, het blad vervolgens op 5 à 6 duim afstands van het oog houdt, en dan door hetzelve naar eenig verafgelegen voorwerp ziet, dan doen de randen der opening zich gekleurd voor.

Het verband tusschen de gewaarwordingen van het oog en de buiten- 139
wereld. Het zien berust daarop, dat de aandoeningen van het netvlies op eene, ons geheel onbekende wijze, tot ons bewustzijn komen. Eigenlijk nemen wij derhalve slechts eenen bepaalden toestand, eene zekere aandoening van het netvlies waar. Dat wij deze waarneming naar buiten verplaatsen, en de beelden op het netvlies als het ware veranderen in aanschouwing van de buitenwereld, dit is het onmiddellijke uitwerksel van ons oordeel; in welk oordeel wij door de ondervinding eene zoodanige zekerheid hebben gekregen, dat wij het netvlies in het geheel niet als orgaan ter waarneming bemerken, en de onmiddellijke ontwaringen verwisselen met datgene, wat, naar ons oordeel, derzelver oorzaak is. Deze gewoonte om het oordeel in de plaats der ontwaring te stellen, grijpt geheel onwillekeurig plaats, en is ons om zoo te spreken tot eene tweede natuur geworden.

Daar wij nu in het algemeen voor de ontwaring op het netvlies eene voorstelling der buitenwereld in de plaats zetten, stellen wij ook voor ieder netvlies-beeld een voorwerp buiten ons. Dat wij het voorwerp, hetwelk aan een zeker netvliesbeeldje beantwoordt, in eene bepaalde rigting zoeken, is stellig eveneens het resultaat van langdurig voortgezette ervaring, even als al het naar buiten werken van het zintuig des gezigts. Zoo wij ons het voorwerp en het netvlies-beeldje door eene regte lijn vereenigd denken, dan is deze de rigting, in welke de beelden naar buiten worden verplaatst. VOLKMANN heeft aangetoond, dat, zoo men van ieder punt van het netvliesbeeldje eene regte lijn trekt naar het beantwoordende punt der buitenwereld, alle deze lijnen elkander snijden in een punt, hetwelk binnen in het oog, en wel eenigzins achter de kristallins ligt; dit punt noemt hij het ***overkruisings-punt***.

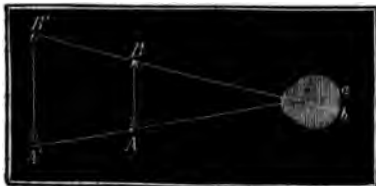
Boven is aangetoond geworden, dat er van de uitwendige voorwerpen verkleinde en omgekeerde beeldjes op het netvlies ontstaan; en men heeft daarom de vraag wel opgeworpen, waarom wij niet alles *omgekeerd* zien? Deze vraag vindt nu een voldoend antwoord in de voorafgaande beschouwingen: tot het bewustzijn, dat er een netvlies-beeld bestaat, dat dit beeldje op het bovenste of onderste gedeelte van de regter of linker zijde van het netvlies aanwezig is, komen wij eerst door optische onderzoekingen; de aandoening van dit vlies komt niet als zoodanig tot het bewustzijn, maar wordt onwillekeurig naar buiten overgebragt, en wel in die rigting, in welke zich de voorwerpen bevinden, die aanleiding geven tot het ontstaan der netvlies-beelden. In deze rigting vinden wij nu de voor-

werpen door de waarneming met andere zintuigen, b. v. door den tastzin, en derhalve bestaat er tusschen de onderscheidene zintuigelijke waarnemingen, ten opzigte der bepaling van de plaats, de meest volkomene harmonie; wij zouden de voorwerpen omgekeerd zien, zoo deze overeenstemming niet bestond.

Bij de door het gezigtsorgaan bewerkte voorstelling der buiten ons gelegen voorwerpen, paren wij ook eene voorstelling van derzelver grootte en afstand. De beeldjes op het netvlies zijn naast elkander gelegen, en zoo wij de beantwoordende voorwerpen niet als onmiddelijk naast, maar ook als achter elkander liggende, herkennen, kortom wanneer wij van de vlakte-waarneming overgaan tot die van de diepte der ruimte, dan is dit geen gevolg van de gewaarwording, maar van het verstand. Het kind heeft zich nog geene voorstelling van de afstanden gemaakt, en het grijpt naar de maan even als het naar voorwerpen in den omtrek grijpt. De voorstelling van de scherpte der gezigtsruimte krijgen wij eerst daardoor, dat wij ons in de ruimte bewegen, dat de beelden bij deze beweging veranderen, en dat wij door onze eigene plaatsverandering een begrip erlangen van den afstand der voorwerpen.

De schijnbare grootte der voorwerpen is afhankelijk van de grootte van het netvlies-beeldje. Denken wij van de beide eindpunten van eenig netvlies-beeldje lijnen naar de beantwoordende eindpunten van het voorwerp getrokken, dan snijden deze lijnen elkander in het overkruisingspunt onder eenen hoek *v*, welken men *gezigtshoek* noemt. De grootte van dezen hoek is evenredig aan de grootte van het netvlies-beeld, en men kan derhalve ook zeggen, dat de schijnbare grootte der voorwerpen afhankelijk is van de grootte van den gezigtshoek, onder welken zij zich voordoen. Twee voorwerpen van verschillende grootte, zoo als *A B* en *A' B'* (Fig. 296) kunnen eene gelijke schijnbare grootte aanbieden, zoo derzelver grootte evenredig is aan hunnen afstand van het oog. Derhalve zullen verschillende voorwerpen, wier grootte zich verhoudt als 1, 2, 3 enz. zich bij 1maal, 2maal en 3maal grooteren afstand, onder eenen even grooten gezigtshoek voordoen.

Fig. 296.



Ons oordeel over de ware grootte der voorwerpen en over hunnen afstand wordt eerst door langdurige ondervinding verkregen, en kan door oefening eenen verwonderlijken graad van zekerheid erlangen.

140 **Het zien met twee oogen.** Indien wij de beide oogen op een voorwerp rigten, dan zien wij het *enkel*, ingevalle het oog geaccommodeerd is voor den afstand, op welken het voorwerp zich bevindt, doch daarentegen zien wij het altijd *dubbel*, zoodra het oog voor eenen kleineren of grooteren afstand geaccommo-

deerd is; wij zien het voorwerp duidelijk, wanneer wij het enkel zien, onduidelijk en met in elkander gevloeide omtrekken, wanneer het dubbel wordt gezien.

Wij kunnen de voorwerpen naar willekeur enkel of dubbel zien. Daartoe houde men b. v. twee vingers regt achter elkander voor het gelaat, en wel zoodanig, dat de een ongeveer 1 voet, de ander 2 voet verwijderd is. Men ziet dan den achtersten vinger dubbel, zoo men de oogassen op den voorsten rigt, en omgekeerd den voorsten vinger dubbel, indien men strak op den achtersten ziet.

In Fig. 297 zijn *L* en *R* de beide oogen, en *A* en *B* twee op verschillenden afstand vóór het oog aanwezige voorwerpen. Zoo men ziet op het voorwerp *A*, dan zijn de assen van beide oogen (de oog-as is de regte lijn, welke het middelpunt van het netvlies vereenigt met het middelpunt van de kristallins en der pupil) naar *A* gerigt, en maken dus eenen tamelijk grooten hoek met elkander. Het beeld van *A* doet zich evenwel in beide oogen op het midden van het netvlies voor. Zoo men daarna het voorwerp *B* fixeert, zoo als dit in Fig. 298 is voorgesteld,

Fig. 297.



Fig. 298.



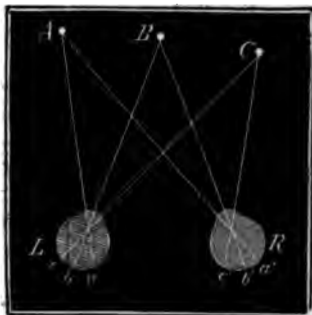
dan wordt de hoek der oogassen kleiner, en nu doet het beeld van *B* zich in beide oogen op het midden van het netvlies voor.

Indien *A* gefixeerd is, zoo als in Fig. 297, dan ligt het beeld van *B* in het linker oog ter regterzijde, en in het regter oog ter linker zijde van het midden der retina, de beelden *b* en *b'* liggen derhalve in beide oogen niet op gelijknamige plaatsen van het netvlies, en daarin is de reden te vinden, waarom het voorwerp *B* hier dubbel gezien wordt. Naardien het beeld *B* in het linker oog ter regter zijde van *a* gelegen is, schijnt het ons toe, dat *B* aan de linker zijde van *A* ligt, terwijl het regter oog het voorwerp *B* aan de regter zijde van *A* ziet, om-

dat het beeld *b'* links van *a'* gelegen is. Wanneer men het voorwerp *A* met beide oogen zoodanig heeft gefixeerd, dat men het slechts enkel, en *B* daarentegen dubbel ziet, dan kan men het linker of regter beeld van *B* doen verdwijnen, naarmate men de van *B* op het linker of regter oog vallende stralen opvangt. Heeft men integendeel het meer verwijderde voorwerp *B* gefixeerd, zoodat *A* dubbel gezien wordt, zoo als in Fig. 298, dan verdwijnt het ter regter zijde waargenomen beeld van *A*, zoodra men het linker oog bedekt.

Ten einde een voorwerp met beide oogen enkel te zien, is het niet noodig, dat de beide oogassen juist op hetzelve gerigt zijn, dat zijn beeld in ieder oog op het midden van het netvlies valt, want anders zoude men slechts een enkel voorwerp enkel zien, terwijl al het overige zich dubbel zoude voordoen. Eene geheele reeks van voorwerpen kan te gelijker tijd met beide oogen enkel gezien worden, wanneer zij slechts hunne beelden in beide oogen op overeenstemmende plaatsen van het netvlies werpen. In Fig. 299 stellen *L* en *R* weder de oogen voor, en *A*, *B* en *C* drie verschillende voorwerpen vóór dezelve. De beelden der drie voorwerpen volgen op elkander in beide oogen in dezelfde orde; want op het netvlies van beide oogen is het beeld van *B* in het midden gelegen, het beeld van *C* aan de linker, en dat van *A* aan de regter zijde. Omdat de netvlies-beelden *c* en *c'* ter linker zijde van *b* en *b'* liggen, zien beide oogen het voorwerp *C* ter regter zijde van *B*; eveneens zien beide oogen het voorwerp *A* ter linker zijde van *B*, omdat de netvlies-beelden *a* en *a'* ter regter zijde van *b* en *b'* liggen.

Fig. 299.



Indien men een voorwerp met beide oogen enkel ziet, en derhalve het beeld van dit voorwerp op overeenstemmende plaatsen van beide netvliezen valt, dan ziet men het duidelijker dan met één oog. Hiervan kan men zich gemakkelijk overtuigen, wanneer men op eenen strook van wit papier ziet, en voor het eene oog een donker scherm zoodanig houdt, dat voor dit oog eene helft van den strook bedekt wordt: het gedeelte van het papier, hetwelk door beide oogen te gelijk gezien wordt, doet zich duidelijker voor dan de andere helft, welke men slechts met een oog ziet.

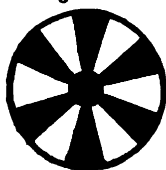
De reden, waarom wij met beide oogen enkel kunnen zien, is in allen gevalle inwendig, dus in het verloop der zenuwvezelen, te zoeken, en niet een gevolg van de gewoonte. „Beide oogen zijn als het ware twee takken met eenen enkelen wortel, en ieder deeltje van den enkelen wortel is als het ware in twee takken *voor beide* oogen gesplitst," zegt MUELLER, in wiens ge-

schriften men ook nadere mededeelingen vindt omtrent de onderscheidene proeven, welke ter verklaring van dit wonderbare verband zijn bewerkstelligd.

Grenzen der zigtbaarheid. Om eenig voorwerp nog zigtbaar te doen zijn, mag de gezigtshoek, onder welken het wordt waargenomen, niet gelegen zijn binnen eenen zekeren grens, die zeer afhankelijk is van de verlichting en de kleur van het voorwerp, de gesteldheid van den achtergrond en van de individueele gesteldheid van het oog. Voor een gewoon oog is, bij matige verlichting, een voorwerp nog zigtbaar binnen eenen gezigtshoek van 30 seconden, terwijl een zeer helder verlicht voorwerp, zoo als een glinsterende zilverdraad, op eenen donkeren grond nog onder eenen gerigtshoek van 2 seconden gezien wordt. Op eenen witten grond kunnen donkere voorwerpen mede zeer duidelijk gezien worden, zelfs wanneer zij zeer fijn zijn: een middelmatig oog kan een hoofdhaar, tegen eene matig heldere lucht nog op eenen afstand van 4—6 voet duidelijk onderscheiden. 141

Duur van den indruk des lichts. Wanneer men met eenen gloeijenden kool snel eenen cirkel beschrijft, dan ziet men den kool zelven niet, maar wel eenen vurigen kring. De reden van dit verschijnsel is daarin gelegen, dat de door den indruk des lichts aangedane plaats van het netvlies niet oogenblikkelijk weder tot rust komt, zoodra de indruk van het licht heeft opgehouden. Om dezelfde reden kan men ook de speeken van een snel loopend rad niet onderscheiden, en de bovenste oppervlakte van eenen tol, die met afwisselende witte en zwarte streepen gekleurd is, zoo als in Fig. 300, doet zich bij eene snelle ronddraaijing gelijkmatig graauw voor. Doch zoo de tol, in het duister ronddraaijende, voor een oogenblik verlicht wordt, b. v. door den bliksem of door eenen electrischen vonk, dan kan men de afzonderlijke streepen duidelijk herkennen. 142

Fig. 300.

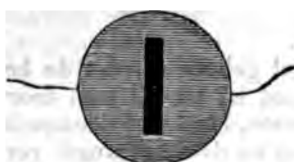


Indien men in eene bordpapieren schijf van 2—3 duim diameter, regt tegen over elkander twee gaten boort, door welke draden kunnen worden getrokken, zoo als in Fig. 301 en 302, dan kan men met

Fig. 301.



Fig. 302.

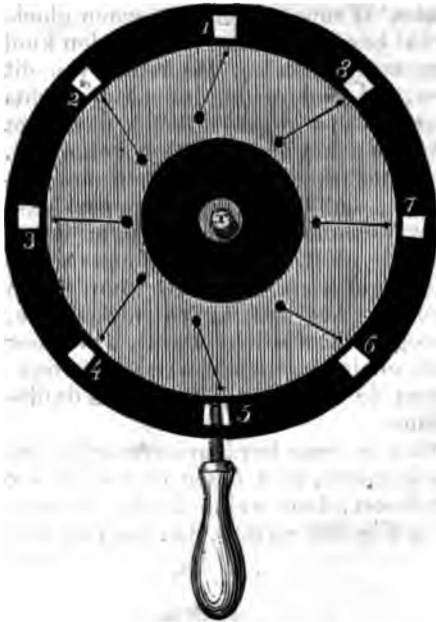


deze draden de schijf zoo snel ronddraaijen, dat bij afwisseling de eene, en daarna weder de andere zijde van de schijf wordt gezien. Maakt men nu aan de eene zijde eenen zwarten streep in de rig-

ting van de beide kleine gaatjes, en aan de andere zijde eenen streep, welke regthoekig staat op de rigting van den eerstgemelden, dan ziet men bij snelle ronddraaijing een kruis, omdat de indruk van den horizontalen streep nog niet heeft opgehouden, op het oogenblik dat de loodregte streep gezien wordt. Zoo men aan de eene zijde een kooitje, en aan de andere zijde eenen vogel heeft geteekend, dan ziet men, bij snelle ronddraaijing, den vogel in het kooitje, enz.

Een zeer vernuftig en aardig werktuig, hetwelk eveneens gegrond is op den duur van den indruk des lichts, is de zoogenoemde *wonderschijf*, of het *phenakistokoop*. Eene schijf van 20—25 duim diamèter kan om eene horizontale as *x* snel rondgedraaid worden. Aan den rand dezer schijf bevindt zich eene reeks van openingen, die op gelijke afstanden op elkander volgen, zoo als in Fig. 303 is voorgesteld, in welke 8 zoodanige openingen worden gezien. Binnen den door de 8 openingen gevormden kring is eene kleine geschilderde schijf bevestigd, op welke een en hetzelfde voorwerp in 8 verschillende standen is geteekend, zoodat er voor iedere opening een andere stand is. In onze Figuur is een zeer eenvoudig voorwerp gekozen, namelijk een slinger. Beneden de opening 1 is de slinger voorgesteld op het oogenblik, dat hij juist in zijnen meest naar de linker zijde gerigten stand verkeert; beneden de opening 2 zien wij den slinger reeds weder tot zijnen evenwigtsstand genaderd, bij 3 is zij in den evenwigtsstand gekomen enz. Deze toestel wordt nu zoodanig voor eenen spiegel gehouden, dat de beschilderde zijde naar den spiegel gekeerd is, terwijl men door eene der openingen, b. v. door de bovenste, het beeld der beschilderde schijf in den spiegel ziet. Indien nu de schijf wordt rondgedraaid, dan gaat de eene opening na de andere voorbij het oog heen, terwijl men niets ziet wanneer de tusschenruimten voor het gezigt heengaan. Stellen wij nu, dat op eenig bepaald oogenblik de opening 1 voorbij het oog gaat, dan ziet men den slinger in zijne grootste af-

Fig. 303.



wijking; de indruk van het licht, welke op dit oogenblik in het oog komt, blijft nu aanhouden, tot dat de opening 2 voor het oog komt, en nu ziet men op dezelfde plaats, waar men den slinger eerst in zijne grootste afwijking had gezien, denzelven eenigzins tot den evenwigtsstand genaderd; het beeld van dezen tweeden stand blijft nu in het oog, totdat de derde opening voor het oog komt, en nu ziet men den slinger in zijnen evenwigtsstand enz. De verschillende standen van den slinger, die op deze wijze naar de rij af voor het oog verschijnen, maken nu den indruk, als of men den slinger wezenlijk ziet schommelen. In de plaats des slingers kan men ook andere voorwerpen kiezen, aan welke men even zooveel verschillende standen kan geven, als er openingen aanwezig zijn, zoodat elke opening aan eenen anderen stand beantwoordt. Op deze wijze kan men bewegingen van menschen en dieren voorstellen, in onderscheidene op elkander volgende houdingen.

Eveneens als de voorwerpen eene zekere grootte moeten bezitten, om voor het oog waarneembaar te zijn, even zoo moet ook de indruk van het licht eenigen tijd voortduren, ten einde zijne werking op het netvlies uit te oefenen. Om deze reden wordt een snel bewogen ligchaam, b.v. een kanonkogel, niet gezien, want het beeld van den voortvliegenden kanonkogel beweegt zich langs het netvlies met eene zoodanige snelheid, dat het op geene enkele plaats van hetzelve kan worden waargenomen.

De nawerkingen op het netvlies zijn des te sterker, en duren des te langer, hoe sterker en meer aanhoudend de oorspronkelijke indruk is. De nabeelden van heldere voorwerpen zijn helder, de nabeelden van donkere voorwerpen donker, wanneer het oog aan de verdere inwerking van het licht wordt onttrokken. Zoo men b.v. gedurende langen tijd onafgewend door een venster naar den helderen hemel ziet, en dan het oog daarvan afkeert en het te gelijkertijd sluit, dan ziet men nog altijd de heldere tusschenruimte, door de donkere vensterramen begrensd. Zoo men daarentegen het oog naar eenen witten wand keert, dan doet datgene, wat in het oorspronkelijke helder was, zich in het nabeeld donker voor, en omgekeerd: men ziet b. v. het vensterraam helder, en de tusschenruimten donker. Dit verschil is gemakkelijk te verklaren: want wanneer het door het licht overprikkelde oog naar den witten muur gekeerd wordt, dan zijn die plaatsen van het netvlies, welke vroeger door het heldere licht waren aangedaan, minder gevoelig voor het witte licht van den muur, dan die plaatsen van hetzelve, op welke het beeld van het donkere vensterraam gevallen was.

Gekleurde nabeelden. Het gezigts-orgaan ontvangt dikwijls in- 143
drukken van kleur, welke niet onmiddellijk door uitwendige voorwerpen zijn teweeg gebragt, maar afhankelijk zijn van eenen eigenaardigen geprikkelden toestand van het netvlies.

Zoodanige kleuren worden *subjectieve* of ook *physiologische* genoemd. Hiertoe behooren de gekleurde nabeelden, alsmede de kleuren welke door contrast worden teweeg gebragt.

De nabeelden, over welke in de vorige § gehandeld is, zijn altijd meer of minder gekleurd, en deze kleur is des te aanmerkelijker, hoe belangrijker de oorspronkelijke indruk van het licht was, welke aanleiding gaf tot het ontstaan van de nabeelden. Men stare b.v. zeer lang op het licht van eene kaars, sluite vervolgens het oog, en wende het naar eene donkere plaats van de kamer, dan meent men nog altijd, het licht voor het oog te hebben, doch het verandert nu langzamerhand van kleur; het wordt al spoedig geheel en al geel, gaat dan door het oranje heen in het roode over, van het rood door het violet in groenachtig blaauw, hetwelk steeds donkerder wordt, totdat het nabeeld eindelijk geheel en al verdwijnt. Zoo men daarentegen het door het kaarslicht verblinde oog naar eenen witten muur keert, dan volgen de kleuren van het nabeeld elkander in eene tegenovergestelde orde op, d. i. men ziet aanvankelijk een volkomenen donker nabeeld op den helderen grond, en dit wordt weldra blaauw, groen en geel, en is eindelijk niet meer te onderscheiden van den witten grond, wanneer het nabeeld geheel verdwenen is, d. i. wanneer het netvlies weder geheel tot rust is teruggekeerd. De overgang van de eene kleur tot de andere begint aan den rand, en verbreidt zich van daar naar het midden. Dezelfde reeks van kleurverschijnselen neemt men waar aan de beelden op wit papier, die, op eenen zwarten grond, door de zon worden beschenenen.

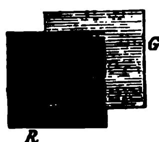
Wanneer men, terwijl nog het gekleurde nabeeld in het oog is, het oog opent en het naar eenen witten wand rigt, dan ziet men op dezen een beeld, hetwelk het completaire is van datgene, hetwelk men op dat oogenblik met het geslotene oog waarneemt. Indien het nabeeld in het geslotene oog rood geworden is, dan ziet men een groen beeld, zoo men het oog opent en het op eene witte oppervlakte rigt.

Zoo men gedurende eenen langen tijd tuurt op eene gekleurde vlek op eenen witten grond, en dan het oog ter zijde op het witte vlak rigt, dan ziet men een complementair gekleurd nabeeld. Ingeval de vlek blaauw was, dan is het nabeeld geel, was zij rood, dan is het groen, enz. Dit verschijnsel laat zich daardoor verklaren, dat het netvlies afgestompt is voor de kleur van het voorwerp, en derhalve des te gevoeliger wordt voor de in het witte licht bevatte kleuren, welke niet bevat zijn in de kleurschakeering van het voorwerp, hetwelk de verblinding te weeg bragt.

Dat het netvlies door het langdurige beschouwen van een sterk verlicht gekleurd voorwerp langzamerhand voor deze kleur wordt afgestompt, blijkt ook daaruit, dat zij langzamerhand doffer en minder duidelijk wordt. Hiervan kan men zich het gemakkelijkst overtuigen op de navolgende wijze:

Men stare langen tijd op een gekleurd, b. v. een rood, vierkant, hetwelk zich op eenen witten grond bevindt, en wende dan het oog een weinig ter zijde, zoodat het complementaire nabeeld ten deele nog op het gekleurde vierkant valt, zoo als zulks in Fig. 304 is afgebeeld. Het vrije gedeelte van het nabeeld doet zich nu groen voor, terwijl het vrij geworden gedeelte van het oorspronkelijke beeld, d. i. dat gedeelte hetwelk zijne stralen nu werpt op plaatsen van het netvlies, welke vroeger nog niet door het roode licht waren aangedaan, zich levendig rood voordoet; doch daar, waar beide vierkanten op elkander vallen, ziet men eene veel doffer roode kleur, want de stralen welke van dit gedeelte van het objectief roode vierkant afkomstig zijn, vallen nog altijd op zoodanige plaatsen van het netvlies, welke door den indruk van het roode licht reeds meer afgestompt zijn.

Fig. 304.



144 **Contrasterende kleuren.** Eene graauwe vlek doet zich op eenen witten grond donkerder, op eenen zwarten helderder voor, dan wanneer de geheele grond dezelfde graauwe kleur bezat. Dit blijkt regt duidelijk uit de volgende proeve: Men houde een smal ondoorzigtig ligchaam, b. v. een potlood, tusschen den vlam eener kaars en eene witte oppervlakte, dan zal men eene donkere schaduw zien op eenen helderen grond. Brengt men nu het licht van eene tweede kaars naast dat van de eerste, dan ziet men twee donkere schaduwen op den helderen grond; elke dezer schaduwen is echter nu door eene kaars even zoo helder verlicht, als vroeger de geheele oppervlakte was, en toch beschouwde men vroeger de oppervlakte als helder en houdt nu de schaduw voor donker. Deze proef is een sterk bewijs voor den belangrijken invloed van het contrast.

Nog meer in het oog loopend zijn de contrast-verschijnselen bij de beschouwing van gekleurde voorwerpen, waarbij men dikwijls complementaire kleuren ziet, welke objectief in het geheel niet aanwezig zijn.

Indien men een smal graauw papiersnippertje op een ligtgroen papier legt, dan doet het papierstrookje zich roodachtig voor, legt men het op een blaauw papier, dan ziet men het geel, kortom het doet zich complementair aan de kleur van den grond voor. Zeer duidelijk neemt men dit verschijnsel waar, wanneer men eenen ongeveer 1 millim. breeden strook van wit papier op eene plaat van gekleurd glas plakt, en dan door deze naar eene witte vlakte, b. v. naar een blad wit papier ziet; of ook, zoo men de eene zijde van het glas geheel en al met een dun papier bedekt, aan de andere zijde den smallen strook bevestigt, en dan het glas voor het licht eener kaars houdt: de strook doet zich dan complementair aan de kleur van het glas voor, en derhalve rood op een groen glas, blaauw op een geel enz.

Hiertoe behooren ook de zoogenaamde *gekleurde schaduwen*, welke ontstaan wanneer een smal ligchaam zijne schaduw werpt in gekleurd licht, en deze schaduw door wit licht verlicht is. Het gemakkelijkst verkrijgt men zoodanige gekleurde schaduwen op de volgende wijze: men late lichtstralen door een gekleurd glas op eene witte vlakte, b. v. op wit papier, vallen, zoodat dit zich nu gekleurd voordoet. Indien men nu op de eene of andere plaats de gekleurde stralen, door welke het papier verlicht wordt, door een smal ligchaam opvangt, dan verkrijgt men eene smalle schaduw, welke enkel verlicht is door het rondom verspreide witte daglicht; deze schaduw is complementair voor de kleur van den grond: bezigt men een rood glas, dan doet de schaduw zich groen voor, en blaauw, wanneer men een geel glas aanwendt, enz. De kleuren dezer schaduwen zijn zuiver subjectief.

Menigmaal neemt men ook gekleurde schaduwen waar, die werkelijk objectief verschillend gekleurd zijn; zij ontstaan, wanneer een ligchaam bij dubbele verlichting twee schaduwen werpt, en de beide lichtbronnen eene verschillende kleur bezitten, want nu wordt de eene schaduw slechts door het licht van de eene, de andere schaduw enkel door het licht van de andere kleur beschenen. Zoodanige gekleurde schaduwen ontstaan, wanneer in den schemeravond het blaauwachtige licht van den hemel in eene kamer valt, in welke zich eene brandende kaars bevindt. Wanneer men dan een staafje zoodanig houdt, dat het eene schaduw in het kaarslicht, en eene tweede in het daglicht op eene witte vlakte werpt, dan doet zich de eene schaduw blaauw, en de andere geel voor, omdat de eene enkel verlicht is door het blaauwachtige daglicht, en de andere slechts door het geelachtige kaarslicht. Doch ook in dit geval kan het contrast eenen grooten invloed uitoefenen op de intensiteit van de kleur, en dit verschijnsel heeft derhalve eenen deels objectieven, en deels subjectieven grond.

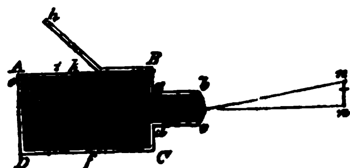
Wat de verklaring der gekleurde nevenbeelden aanbelangt, deze is daarin te zoeken, dat, wanneer eenig gedeelte van het netvlies door gekleurd licht wordt aangedaan, de regtstreeksche indruk ook op de aangrenzende plaatsen van het netvlies zoodanig reageert, dat deze eene kleur ontwaren, welke de complementaire is van die kleur, welke den oorspronkelijken indruk uitoefende. Iedere zamenstelling van kleuren, welke met elkander complementair zijn, maakt op het oog eenen aangenamen indruk, hetgeen gemakkelijk te begrijpen is, wanneer men bedenkt, dat, wanneer eenig gedeelte van het netvlies regtstreeks door eene kleur wordt aangedaan, het zelf reeds streeft, om op de naburige plaatsen deze tegenstelling te bewerken. Iedere zamenstelling van niet complementaire kleuren is daarentegen niet-harmonisch, en brengt eenen des te onaangenameren indruk te weeg, hoe sterker de kleuren zijn. Zoo zal b. v. eene groene uniform met carmozijn-roode opslagen eenen aangenamen

indruk maken, terwijl daarentegen een ieder eene roode uniform met gele opslagen voor smakeloos zou verklaren.

De camera obscura. Deze, door den Napolitaan PORTA omstreeks 145
het midden der 17ᵉ eeuw uitgevonden, bestaat in de hoofdzaak uit eene verzamelingslins van eene eenigzins aanmerkelijke brandwijdte, door welke een beeld van verwijderde voorwerpen, b. v. een landschap, kan worden ontworpen. Ten einde de uitwerking van dit beeld zooveel mogelijk te vermeerderen, moet van de oppervlakte, op welke het wordt opgevangen, al het van ter zijde komende, daartoe niet behoorende, licht zorgvuldig worden afgesloten, d. i. het moet in eene *donkere kamer* worden opgevangen.

De tot heden meest gebruikelijke vormen van de camera obsura zijn in Fig. 305 en 306 voorgesteld. Fig. 306 stelt eene kast voor, aan welke een hals *a b c d* is aangebragt, in welken eene verzamelings-lins *b c* is geplaatst. De stralen, welke door de lins in de donkere kast dringen, worden door eenen, onder eenen hoek van 45° met de as hellenden, vlakken spiegel naar boven teruggekaatst, zoodat het beeld van een verwijderd voorwerp bij *i k* op eene mat geslepen glazen plaat kan worden opgevangen. Het deksel *g h* dient, om het vreemde licht zooveel mogelijk van het glas af te weren. Indien de mat geslepene zijde van het glas naar boven gekeerd is, dan kan men met een potlood de omtrekken van het bij *i k* ontstane beeld nateekenen, en op deze wijze eene getrouwe afteekening van de voorwerpen aan de natuur ontleenen.

Fig. 305.



In Fig. 306 wordt eene tamelijk hooge kast voorgesteld, op wier bodem een blad wit papier gelegd wordt. Door de bovenste oppervlakte van de kast loopt eene buis, bevattende de verzamelings-lins, tegenover welke zich de, onder eenen hoek van 45° hellende, platte spiegel bevindt. De van het voorwerp afkomstige stralen worden door den spiegel naar beneden teruggekaatst, zoodat het beeld ontstaat op de oppervlakte van het papier. Dit beeld is zeer levendig, omdat door de wanden van de kast al het zijdelingsche licht wordt afgesloten, zoodat men derhalve de omtrekken van het beeld gemakkelijk met potlood kan nateekenen.

Fig. 306.



De zuiverheid der in de camera obscura verkregene beelden, heeft dikwijls den wensch opgewekt, om deze beelden eenigermate duurzaam te

kunnen maken; en ofschoon de meesten dit wel als eenen vromen wensch hebben beschouwd, heeft het toch niet ontbroken aan lieden, die getracht hebben dien wensch te verwezenlijken. Naardien het licht scheikundige werkingen voortbrengt, daar het b. v. chloorzilver zwart kleurt, was het althans mogelijk, om door het beeld van de camera obscura duurzame indrukken te weeg te brengen. Over de uitvinding van DAGUERRE, die, gelijk bekend is, eene zoodanige methode uitvond, door welke de beelden der camera obscura op eene wezenlijk verwonderlijke wijze worden behouden, zal later worden gehandeld.

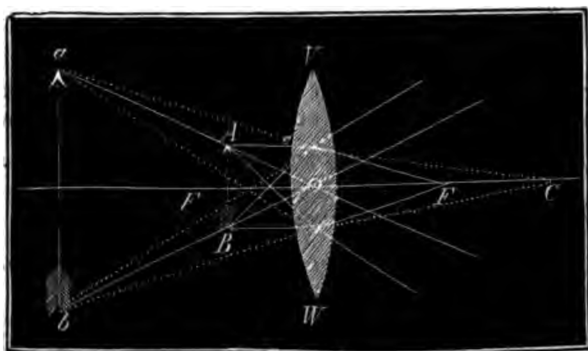
De inrigting der camera obscura, welke tot het verkrijgen der beelden van de *Daguerreotype* het voordeeligste is, is die, welke VOIGTLANDER te *Weenen* aan dezen toestel heeft gegeven. De lins, welke hij voor dezen toestel bezigt, bestaat uit een stelsel van crown-flintglas-linzen, die volgens de door PETZWAL aangegevene regelen geslepen zijn, en door welke het beeld veel scherper wordt, dan dit bij eene gewone achromatische lins het geval is.

146 **De loupe of het enkelvoudige mikroskoop.** Wij hebben boven gezien, dat de schijnbare grootte van een voorwerp afhankelijk is van de grootte van den gezigtshoek, onder welken het zich voordoet. De gezigtshoek wordt des te grooter, hoe nader het voorwerp bij het oog gebragt wordt; doch slechts tot op eenen zekeren grens, den afstand van duidelijk zien, kunnen wij het voorwerp nabij het bloote oog brengen, om nog eene scherpe onderscheiding der grenzen en der afzonderlijke deelen mogelijk te doen zijn, en verder is het dan ook niet mogelijk, om den gezigtshoek te vergrooten. Ieder werktuig nu, door middel van hetwelk men den gezigtshoek voor kleine nabijzijnde voorwerpen meer kan vergrooten, dan zulks met het ongewapende oog het geval is, wordt *mikroskoop* genoemd. Ingevolge deze bepaling, is ook de kleine opening in het kaartenblad, over welke vroeger gehandeld werd, een mikroskoop en wel een enkelvoudig; doch in den regel verstaat men door *enkelvoudige mikroskopen* slechts collectief-linzen van eene korte brandwijdte.

Om te begrijpen, hoe eene enkelvoudige verzamelings-lins als mikroskoop kan dienen, behoeft men slechts eenen blik te werpen op Fig. 307. *V W* zij eene verzamelings-lins, *A B* een voorwerp, hetwelk zich binnen de brandwijdte van het glas bevindt, dan divergeren al de van een punt van het voorwerp uitgaande stralen na hunnen doorgang door de lins juist zoodanig, alsof zij van het overeenstemmende punt van het beeld *a b* afkomstig waren, zoo als dit reeds vroeger is aangetoond. Het oog achter de lins zal echter het voorwerp door de lins heen duidelijk kunnen zien, wanneer het beeld *a b* zich bevindt op den afstand van duidelijk zien; doch in dit geval ligt het voorwerp zelf veel digter bij het oog, en zonder de lins

zou men het dus niet meer duidelijk kunnen zien. Het ver-

Fig. 307.



grootende vermogen der lins is derhalve in de hoofdzaak daarin te zoeken, dat het door middel van de lins mogelijk wordt, om het voorwerp zeer digt bij het oog te brengen, waardoor dan natuurlijk ook de gezigtshoek vergroot wordt.

Ter bepaling van de door de loupe te weeg gebragte vergrooting, moeten wij de grootte van den gezigtshoek, onder welken het beeld *a b* zich aan het oog vertoont, wanneer het zich op den afstand van duidelijk zien bevindt, vergelijken met de grootte van den gezigtshoek, onder welken het voorwerp zelf zich zou voordoen, ingevalle het even zoo ver van het oog verwijderd ware.

De hoek, onder welken het beeld *a b* zich voordoet, kan men alleen dan naauwkeurig bepalen, wanneer de afstand tusschen het glas en het overkruisingspunt in het oog bekend is; maar dewijl men het oog digt achter het glas houdt, en de dikte van de lins zelve onbelangrijk is, kan men zonder merkbaar verschil het overkruisingspunt beschouwen als zamenvallende met het middelpunt *o* van de lins; bij deze veronderstelling kan nu de vergrooting gemakkelijk berekend worden.

Van uit *O* gezien, doen zich het voorwerp *A B* en het beeld *a b* onder eenen gelijken gezigtshoek voor, en wij vinden derhalve de vergrooting, wanneer men den gezigtshoek, onder welken *A B* zich voordoet, vergelijkt met dien, onder welken hetzelfde voorwerp zou worden gezien, wanneer het tot op den afstand van het duidelijk zien van *O* verwijderd, en derhalve op de plaats van het beeld *a b* gesteld ware. Naardien de schijnbare grootte van een voorwerp omgekeerd evenredig is aan zijnen afstand van het oog, verhoudt zich de gezigtshoek *A O B* tot den hoek, onder welken *A B* van uit *O* gezien zich zou voordoen, indien dit voorwerp tot aan *a b* verplaatst ware, omgekeerd evenredig aan de afstanden van het voorwerp *A B* en van het beeld *a b* van *O*. Indien wij den afstand van het beeld tot *O* aanduiden door *d*, den afstand

van het voorwerp AB van het oog door x, dan is de vergrooting $\frac{d}{x}$, waarbij men voor d den afstand van duidelijk zien moet stellen.

Veronderstellen wij, hetgeen stellig niet het geval is, dat het beeld zich bevond op den afstand van duidelijk zien, maar het voorwerp in het brandpunt van de lins, dan ware de vergrooting $\frac{d}{f}$, wanneer f de brandwijdte van het glas aanduidt. De formule $\frac{d}{f}$ geeft ons nu wel niet de wezenlijke waardij der vergrooting, maar zij maakt een benaderend oordeel over de vergrooting der loupe mogelijk.

Zoo het beeld $a\,b$ ontstaan zal op den afstand d, dan moet het voorwerp zich bevinden binnen de brandwijdte, derhalve is in allen gevalle x kleiner dan f, en de wezenlijke waardij der vergrooting is derhalve in allen gevalle nog iets grooter dan $\frac{d}{f}$.

Indien b. v. de afstand van het duidelijk zien 10 duim, de brandwijdte van de lins 2 duim is, dan zal de vergrooting nog iets meer dan $\frac{10}{2}$, d. i. nog iets meer dan 5 bedragen.

Hoe kleiner de waardij van f wordt, d. i. hoe kleiner de brandwijdte van de lins is, des te kleiner wordt ook de waardij van x, des te grooter de waardij van $\frac{d}{x}$, en des te sterker is derhalve de vergrooting. Eene loupe van korte brandwijdte vergroot bijgevolg sterker, dan eene zoodanige van grootere brandwijdte.

147 **Het zon-mikroskoop.** Dit werktuig, welks werking tot de meest belangrijke en leerzame in de optica behoort, bestaat uit een stelsel van glazen, die tot verlichting der voorwerpen dienen, en uit een stelsel van linzen van korte brandwijdte, die een verzamelingsbeeld der voorwerpen geven. In Fig. 308 is een zoodanig zon-mikroskoop voorgesteld.

De spiegel m kaatst het zonnelicht terug naar de buis t, paralel met de as dezer buis. De lins $i\,r$ doet de stralen eenigzins convergeren, en dit wordt nog vermeerderd door eene tweede lins f, zoodat de stralen vereenigd worden in een brandpunt, hetwelk zich zeer digt bij het te onderzoeken voorwerp bevindt. Opdat zulks nu ten allen tijde mogelijk zij, moet de lins bewegelijk worden gemaakt, de beweging geschiedt door eene schroef, welker knop zich buiten de buis bevindt, en die in eene kleine getande stang grijpt, die aan het handvat van de lins f bevestigd is.

De voorwerpen, tusschen glazen of metalen platen bevat, worden nu geplaatst tusschen de metaal-platen p' en q. Dewijl *de plaat* q door middel van veeren tegen p' wordt gedrukt,

worden de voorwerp-platen door deze drukking vastgehouden, zoodat zij niet kunnen vallen.

Fig. 308.



Wanneer nu het voorwerp behoorlijk gerigt en verlicht is, dan kan men op eene gemakkelijke wijze een vergroot beeld van hetzelve verkrijgen. Daartoe dient namelijk de achromatische lins *l*, die inderdaad de objectief-lins is. Aan het handvat dezer lins is een getande stang bevestigd, in welken een schroef grijpt, door middel van welke de lins *l* naar willekeur kan worden verschoven. Men stelt de lins nu naderbij of verder van het voorwerp, totdat men eindelijk een scherp helder beeld op eenen witten wand, een lijnwaad of een papieren scherm op eenen afstand van 10, 15 tot 20 voet opvangt. Dewijl er hier een wezenlijk beeld ontstaat, laat het zich van zelf begrijpen, dat het voorwerp zich aan gene zijde van het brandpunt *l* van de lins moet bevinden. Men kan de vergrooting berekenen, zoo men den afstand tusschen het voorwerp en de lins deelt in den afstand tusschen het beeld en de lins. Zoo men evenwel de vergrooting regtstreeks wil waarnemen, dan moet men tot voorwerp den glas-mikrometer bezigen, wiens verdeeling eene bekende grootte heeft, en dan de grootte der afdeelingen in het beeld meten.

Men heeft ook dergelijke mikroskopen vervaardigd, bij welke het licht der zon vervangen wordt door kunst-licht, b. v. door het licht van een stukje kalk in knalgas tot gloeijens verhit (het kalklicht van DRUMMOND) of ook eenvoudig door het licht eener sterk lichtgevende lamp. De vergrooting moet des te geringer zijn, hoe minder sterk het gebezigde licht is.

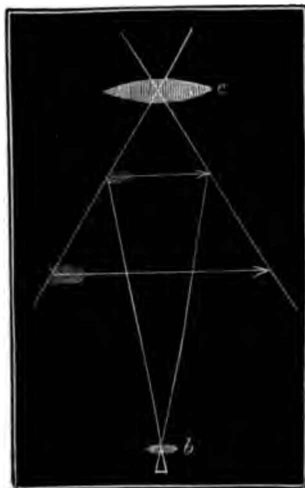
De *tooverlantaarn* (laterna magica) steunt op dezelfde gronden, doch hierbij zijn de voorwerpen op glas geschilderd, en worden bestraald door het licht van eene lamp, die hoogstens eene 15 tot 20 malige vergrooting toelaat.

Het zamengestelde mikroskoop. De gronden, op welke de zamenstelling van alle, overigens nog zoo verschillend vervaardigde, mikroskopen steunt, zijn de volgende: 148

1) De voorwerpen, welke men wil onderzoeken, bevinden zich nabij eene verzamelings-lins *b* van korte brandwijdte, en

wel eenigzins aan gene zijde van het brandpunt. Deze lins, zij moge nu enkelvoudig of zamengesteld, achromatisch of niet achromatisch zijn, wordt de *voorwerp-lins*, *objectief-lins*, of *objectief* van het mikroskoop genoemd.

Fig. 309.



2) De wezenlijke en vergroote beelden, welke het objectief van de voorwerpen daarstelt, worden gezien door eene verzamelings-lins *c*, die hier voor loupe dient. Deze tweede lins, welke eveneens enkelvoudig of zamengesteld, al of niet achromatisch kan zijn, wordt het *oog-glas*, *oculair-glas*, of *oculair* genoemd.

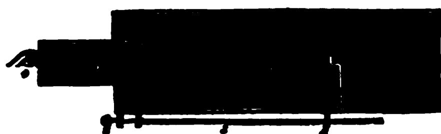
Derhalve is ieder dioptrisch mikroskoop in de hoofdzaak zamengesteld uit een objectief en een oculair, en de vergrooting door het mikroskoop is het product der vergrootingen, welke door ieder dezer glazen wordt te weeg gebragt. Wanneer b. v. het objectief in diameter 5 maal, het oculair echter 10 maal vergrootte, dan zou een zoodanig mikroskoop den diameter der voorwerpen 50 maal, en derhalve de oppervlakte 2500 maal vergrooten. Eene 1000 malige vergrooting van den diameter, derhalve eene 1,000,000 malige vergrooting der oppervlakte, zou men kunnen verkrijgen, zoo de vergrootingen van het objectief en van het oculair beantwoordden aan 100 en 10, of 50 en 20, of 40 en 25 enz.

149 **De spiegelteleskoop.** Teleskopen noemt men al die werktuigen, welke dienen om verwijderde voorwerpen vergroot te doen zien. Zij bestaan uit eenen hollen spiegel of eene verzamelings-lins, door welke een beeld wordt daargesteld van de verwijderde voorwerpen, hetwelk men door een enkelvoudig of zamengesteld oculair beschouwt. Wanneer het beeld wordt daargesteld door eenen hollen spiegel, dan noemt men het werktuig *spiegelteleskoop*. Het voornaamste gedeelte van hetzelve is een holle spiegel van metaal, die naar het voorwerp gekeerd is, en waarvan derhalve, ingevolge de vroeger behandelde wetten, een omgekeerd beeld wordt gevormd. De verschillende spiegelteleskopen onderscheiden zich enkel door den aard en de wijze, hoedanig dit beeld wordt waargenomen.

De meest gewone inrigting van de spiegelteleskoop is in Fig. 311 voorgesteld. De holle spiegel *m m'* heeft in het midden eene cirkelvormige opening *c c'*; de invallende lichtstralen worden zoodanig teruggekaatst, dat er in *i i'* een wezenlijk omgekeerd beeld van het verwijderde voorwerp ontstaat; dit beeld nu bevindt zich binnen de brandwijdte van den kleinen hollen

spiegel *v*, door welken voor het oogglas een regtstaand beeld van het omgekeerde beeld *ii'* ontworpen wordt. Het oculair is hier, even als bij het mikroskoop, gewoonlijk uit twee linzen zamengesteld. De eerste doet de van *v* afkomstige stralen eenigzins convergeren, en doet derhalve het beeld *nn'* eenigzins meer naderen tot den spiegel *v*, dan zonder deze lins het geval zou zijn; en het beeld *nn'* wordt nu eindelijk gezien door de onmiddellijk voor het oog geplaatste lins.

Eig. 311.



Naarmate de te beschouwen voorwerpen meer of minder nabij zijn, moet de spiegel *v* meer van het oogglas verwijderd of digter daarbij worden gebragt. Dit geschiedt door middel van de schroef *b s*.

Verrekijkers noemt men gewoonlijk zoodanige teleskopen, in 150
welke in de plaats van den hollen spiegel eene verzamelingslins is aangebragt. Ten einde het door het objectief ontworpene beeld der verwijderde voorwerpen zuiver en scherp te doen zijn, moet men daarvoor eene achromatische lins bezigen. Een zoodanig objectief moet derhalve altijd uit twee ongelijk verstrooijende zelfstandigheden vervaardigd zijn, en is dan ook gewoonlijk zamengesteld uit twee onmiddellijk tegen elkander geplaatste linzen, zoo als wij reeds boven hebben gezien. Bij de dialithische verrekijkers echter is de achromatiserende lins van flintglas, verwijderd van de voorste lins van crown-glas, en nader bij het oculair geplaatst, zoodat de lins van flint-glas van kleineren diameter kan zijn. De verschillende soorten van verrekijkers onderscheiden zich door de verschillende inrigting van het oculair. Bij den verrekijker van GALILEI bestaat het oogglas uit eene eenvoudige verstrooijingslins; het oogglas van den *astronomischen* verrekijker heeft een of twee verzamelings-linzen, het oogglas van den *aard-verrekijker* eindelijk heeft vier zoodanige linzen.

De inrigting van den *Hollandschen verrekijker*, of van GALILEI, is in Fig. 312 voorgesteld. *V W* is het objectief, het-

Fig. 312.



welk in $a\ b$ een omgekeerd verkleind beeld zou ontwerpen, zoo de stralen niet reeds vooraf door het holle glas $X\ Z$ opgevangen werden. Nu wordt echter het oogglas zoodanig gesteld, dat de afstand van het beeld $a\ b$ eenigzins grooter is dan de verstrooijingswijdte van het holle glas; bijgevolg worden al de stralen, welke naar een punt van het beeld $a\ b$ convergeren, zoodanig door het holle glas gebroken, dat zij na hunnen doorgang door hetzelve zoo divergeren, alsof zij afkomstig waren van een punt vóór het glas. De naar b convergerende stralen divergeren derhalve zoo, alsof zij van B, de naar a convergerende alsof zij van A kwamen, en men ziet dus door den verrekijker het regtopstaande vergroote beeld $A\ B$.

De door den verrekijker te weeg gebragte vergrooting kan gemakkelijk berekend worden, zoo de brandwijdte van het objectief en de verstrooijingswijdte van het oculair bekend zijn. De hoek, onder welken het voorwerp zonder verrekijker zou worden gezien, is gelijk aan den hoek, onder welken het beeld $a\ b$ uit het middelpunt van het objectief gezien wordt, derhalve gelijk aan den hoek $b\ p\ a$. Denken wij nu het oog verplaatst in het middelpunt o van het oculair, dan wordt het voorwerp door verrekijker gezien onder den hoek $A\ o\ B$, die gelijk is aan hoek $b\ o\ a$; en om nu te bepalen, hoeveel maal de verrekijker vergroot, behoeven wij slechts te onderzoeken, hoeveel maal de hoek $b\ o\ a$ grooter is dan hoek $b\ p\ a$.

De afstand van het beeld $a\ b$ van het objectief, is gelijk aan deszelfs brandwijdte, wanneer het voorwerp zeer ver verwijderd is; de afstand des beelds $a\ b$ van het oogglas is evenwel slechts onmerkbaar grooter dan de verstrooijingswijdte f' van dit glas, en wij kunnen derhalve zonder merkbaar verschil den afstand tusschen het beeld $a\ b$ en o gelijk f' stellen. Nu verhouden zich echter de hoeken $b\ p\ a$ en $b\ o\ a$ ten naastenbij omgekeerd aan deze afstanden, derhalve

$$b\ p\ a : b\ o\ a = f' : f.$$

of

$$\frac{b\ o\ a}{b\ p\ a} = \frac{f}{f'}.$$

Stellen wij den hoek $b\ p\ a$, onder welken het voorwerp zonder verrekijker gezien wordt, $= 1$, dan is de hoek, onder welken het in den verrekijker wordt gezien,

$$b\ o\ a = \frac{f}{f'},$$

d. i. men vindt de vergrooting, wanneer men de brandwijdte van het objectief deelt door de verstrooijingswijdte van het oogglas; en derhalve is de verstrooijing des te grooter, hoe grooter de brandwijdte van het objectief en hoe kleiner de verstrooijingswijdte van het oculair is.

De afstand der beide glazen is natuurlijk ten naastenbij gelijk

$f—f'$; wanneer men derhalve onderscheidene ooglazen met hetzelfde objectief verbindt, dan zal de afstand van beide glazen des te grooter moeten zijn, hoe kleiner de verstrooijingswijdte van het oogglas, en hoe sterker derhalve de vergrooting is.

Bij den *astronomischen* verrekijker wordt het beeld van het oogglas werkelijk daargesteld, en wordt door eene enkelvoudige of zamengestelde loupe beschouwd, zoo als men dit in Fig. 313 ziet: *a b* is het door het objectief ontworpen omge-

Fig. 313.



keerde beeld van een voorwerp, hetwelk, door de loupe *X Z* beschouwd, zich in *A B* vergroot voordoet.

De vergrooting van eenen zoodanigen verrekijker kan gemakkelijk worden berekend, zoo men de brandwijdte van het objectief en van het oculair kent; want de gezigtshoek, onder welken het voorwerp zich aan het bloote oog voordoet, is gelijk aan den hoek, onder welken het beeld *a b* uit het midden van het objectief *V W* gezien wordt. Door den verrekijker wordt het echter gezien onder denzelfden hoek, als het beeld *b a* uit het midden van het oculair *X Z* beschouwd; doch de een dezer hoeken verhoudt zich tot den anderen omgekeerd aan den afstand van het beeld *a b* van het objectief tot dien van het oogglas. Nu is evenwel het beeld zoo ver van het objectief verwijderd, als deszelfs brandwijdte f, van het oculair zooveel als f' bedraagt (zoo wij door f' de brandwijdte van het oculair aanduiden); derhalve verhoudt zich de gezigtshoek, onder welken het verwijderde voorwerp door den verrekijker gezien wordt, tot den hoek onder welken het met het bloote oog wordt gezien, als f tot f', en bijgevolg is de door den verrekijker te weeg gebragte vergrooting $\frac{f}{f'}$.

De lengte van den verrekijker is $f + f'$, d. i. zij is gelijk aan de som der brandwijdten van beide glazen.

Gewoonlijk bezigt men tot oculair geene enkelvoudige lins, zoo als wij dit tot heden hebben aangenomen, maar een zamenstel van twee linzen. De zamengestelde ooglazen van de astronomische verrekijkers zijn óf geheel en al zoodanig ingerigt als de zamengestelde ooglazen der mikroskopen (in dit geval ontstaat het beeld tusschen de beide glazen van het oculair) óf de beide linzen zijn digter bij elkander geplaatst,

zoodat het beeld reeds vóór het oogglas ontstaat, en door de beide linzen als door eene enkele sterkere gezien wordt.

Dat men door eenen astronomischen verrekijker de voorwerpen omgekeerd ziet, is duidelijk; want door het objectief wordt er een omgekeerd beeld van het verwijderde voorwerp ontworpen, en dit beeld wordt, vermits het door eene loupe gezien wordt, niet omgekeerd.

De helderheid van het beeld is afhankelijk van de grootte van het objectief; de grootte van het gezigtsveld van het oculair.

Ten einde den kijker naauwkeurig op de voorwerpen te kunnen rigten, moet er in den astronomischen kijker een kruis van draden gespannen zijn; en dit bevindt zich juist op die plaats, waar, door het objectief, het beeld van het te onzonderzoeken voorwerp ontstaat.

Bij het beschouwen van voorwerpen op de aarde, is het onaangenaam, alles verkeerd te zien, hetgeen bij astronomische waarnemingen, gelijk ook bij metingen, onverschillig is. Ten einde nu bij sterkere vergrooting de voorwerpen toch nog regtop te kunnen zien, heeft men het oculair van den astronomischen verrekijker vervangen door eene buis, welke doorgaans vier holle linzen bezit, en op deze wijze verkrijgt men den *aard-verrekijker*. De vier linzen in de oculairbuis stellen in zekeren zin een niet zeer sterk vergrootend zamengesteld mikroskoop daar, door hetwelk men het omgekeerde beeld weder omgekeerd, en dus regt ziet. De beide voorste glazen in de oogbuis zijn eenigermate het objectief van dit mikroskoop, de beide anderen het oculair.

De vergrooting van den Hollandschen en van den astronomischen verrekijker kan, gelijk wij gezien hebben, berekend worden uit de brandwijdte der glazen; doch daar deze brandwijdte zelve eerst door eene proef moet worden gevonden, is het verkieselijk, om de vergrooting van den verrekijker onmiddellijk door eene proef te bepalen. Dit geschiedt zeer eenvoudig op de volgende wijze: Op eenigen afstand van den verrekijker plaatse men eene verdeelde staaf, zoo b. v. als men tot het landmeten bezigt, en stare te gelijkertijd met het eene oog regtstreeks, met het andere door den verrekijker, op dezelve. Op deze wijze te werk gaande, ziet men, hoeveel afdeelingen van den met het bloote oog waarneembaren maatstok op een door den verrekijker beschouwd gedeelte gaan, en zoo verkrijgt men onmiddellijk de maat van de vergrooting. Tot deze proeve kan men ook de sparren van èen dak bezigen.

In vroegeren tijd waren de dioptrische verrekijkers nog zeer onvolkomen, omdat men toen nog geene achromatische objectieven kon bezigen; de objectieflinzen werden daarom door eenen hollen spiegel vervangen, en op deze wijze ontstonden de spiegelteleskopen.

VIJFDE HOOFDSTUK.

Interferentie-verschijnselen.

Ter verklaring van de onderscheidene verschijnselen des lichts, 151
zijn er twee verschillende hypothesen gesteld, namelijk de *uitvloeijings-* of *emanatie-theorie*, en de *trillings-vibratie-* of *undulatie-theorie.*

De *emanatie-theorie* stelt, dat er eene eigenaardige lichtstof zij, en dat door een lichtgevend ligchaam naar alle zijden heen, met eene zoodanige snelheid, deeltjes van deze fijne stof afgegeven worden, dat een zoodanig lichtdeeltje in 8 minuten en 13 seconden van de zon naar de aarde komt. Deze lichtstof moet men natuurlijk als uiterst fijn, en niet aan de werking der zwaarte onderworpen, derhalve als onweegbaar beschouwen. Het verschil der kleuren is afhankelijk van een verschil in de snelheid; de terugkaatsing is, naar deze meening, overeenkomende met het terugspringen van veerkrachtige ligchamen. Ten einde volgens deze theorie de breking van het licht te verklaren, moet men aannemen: 1°. dat er zich in de doorzigtige ligchamen genoegzaam groote tusschenruimten bevinden, om de lichtdeeltjes door te laten; en 2°. dat de weegbare moleculen eene aantrekkende kracht uitoefenen, welke, gezamenlijk met de eenmaal verkregene snelheid der lichtdeeltjes, de buiging derzelve bewerkt.

De vibratie-theorie neemt aan, dat het licht zich voortplant door de slingeringen der deeltjes eener onweegbare stof, welke den naam van *ether* draagt. Ingevolge deze theorie heeft het licht wel eenigzins overeenkomst met het geluid; doch het geluid wordt voortgeplant door de trillingen van de weegbare stof, het licht door de trillingen van den ether. Deze ether vervult de geheele wereldruimte, daar immers het licht al de hemelruimten doordringt. Hij is echter niet enkel verbreid in de overigens ledige ruimten, door welke de hemelligchamen gescheiden worden, maar hij doordringt ook alle ligchamen, en vult de tusschen de weegbare atomen bestaande ruimten.

Zoo de ether in de geheele wereldruimte in rust ware, zou er overal eene volkomene duisternis heerschen; doch op eene plaats in trilling gebragt, planten de lichtgolven zich naar alle zijden heen voort, even gelijk de trillingen eener snaar zich verbreiden in eenen in rust verkeerenden dampkring. Het licht, hetwelk het eerst door eene beweging ontstaat, moet derhalve wel onderscheiden worden van den ether zelven, even als de slingerbeweging, welke het geluid voortbrengt, onderscheiden wordt van de trillende deeltjes der weegbare stof.

Gedurende langen tijd hebben beide deze theorien onder de natuurkundigen vele aanhangers geteld. Door NEWTON was de emanatie-theorie gesteld, terwijl HUYGENS te beschouwen is als de ontwerper der vibratie-theorie. De grondige beoefening der licht-

verschijnselen, die nog in het navolgende zullen behandeld worden, heeft der vibratie-theorie eene besliste zege verschaft; want deze verschijnselen kunnen zeer eenvoudig verklaard worden door de aanname van lichtgolven, en niet door de emanatie-theorie.

152 **Gronden der vibratie-theorie.** De deeltjes van een lichtgevend ligchaam trillen op dezelfde wijze, als dit bij de geluidgevende ligchamen het geval is, behalve dat de trillingen van het licht oneindig sneller zijn dan de geluidstrillingen; terwijl zij mede niet door de weegbare stof zelve, maar door den licht-ether worden voortgeplant.

Indien een lichtstraal zich in de rigting van *A* naar *B*, Fig. 314, verspreidt, dan trillen al de etherdeeltjes, die in evenwigt

Fig. 314.



zouden gelegen zijn op de regte lijn *A B*, in rigtingen, die regthoekig staan op *A B*, ongeveer zoodanig, als de deelen eener gespannen snaar trillen, wanneer men aan het uiteinde derzelve eenen sterken slag aanbrengt. De kromme lijn in Fig. 314 stelt den wederkeerigen stand der moleculen in een bepaald oogenblik der beweging voor.

Laat ons de slingeringen van een ether-molecule eenigzins naauwkeuriger beschouwen. Het deeltje, hetwelk in *b* in evenwigt verkeert, slingert voortdurend tusschen de punten *b'* en *b"*. In *b'* is deszelfs snelheid nul; doch hoe meer het tot zijnen evenwigtsstand nadert, des te meer neemt de snelheid toe, welke haar maximum bereikt op het oogenblik, in hetwelk het deeltje den evenwigtsstand voorbij gaat. Van nu af vermindert de snelheid weder, totdat zij eindelijk in *b"* weder nul wordt; waarop dan de beweging weder in tegenovergestelde rigting begint.

Ofschoon het licht zich met eene buitengewone snelheid voortplant, is deze voortplanting toch niet momentaneel; de trillingen van een ether-molecule deelen zich derhalve ook niet momentaneel mede aan die moleculen, welke in de rigting van deszelfs straal op het eerstgemelde molecule volgen. Stellen wij ons voor, dat de geheele reeks van moleculen op de lijn *A B* in rust zij. Indien nu het molecule in *b* op een bepaald oogenblik zijne trillingen begint, dan zullen al de verder achter *B* liggende moleculen later beginnen te trillen, en wel des te later, hoe meer zij achter *b* gelegen zijn. Terwijl het molecule *b* eene volkomene trilling maakt, d. i. terwijl het zich van *b'* naar *b"* en weder terug naar *b'* beweegt, zal de beweging zich voortplanten

naar het molecule *c*, zoodat dit molecule zijne eerste trilling begint op het oogenblik, waarop *b* zijne tweede begint. Van nu af aan zullen de moleculen *b* en *c* steeds in gelijken slingeringstoestand verkeeren, d. i. zij zullen, zich gelijktijdig naar dezelfde zijde bewegende, den evenwigtsstand voorbijgaan, en te gelijker tijd het maximum van afwijking aan de eene en aan de andere zijde van *A B* bereiken..

De afstand *b c* van twee ether-moleculen, die steeds in gelijken slingeringstoestand verkeeren, wordt, gelijk wij reeds vroeger hebben gezien, eene *golflengte* genoemd. Wanneer *c d* ook eene golflengte is, dan zal het molecule *d* zijne eerste trilling beginnen op hetzelfde oogenblik, op hetwelk *c* zijne tweede en *b* zijne derde trilling begint; en *d* zal van nu af steeds met *c* en *b* in denzelfden slingeringstoestand verkeeren.

Indien *f* in het midden tusschen *b* en *c* gelegen is, d. i. wanneer het op den afstand van eene halve golflengte van *b* verwijderd is, dan is het molecule in *f* steeds in slingeringstoestanden, tegenovergesteld aan dien der moleculen in *b* en *c*. Wanneer *b* en *c* het maximum van afwijking boven *A B* bereiken, dan komt *f* in het maximum aan de tegenovergestelde zijde. Het molecule *f* gaat gelijktijdig met *b* en *c* voorbij den evenwigtsstand, doch beweegt zich in tegenovergestelde rigting.

Wanneer twee etherdeeltjes op den weg van eenen lichtstraal $\frac{1}{2}$ *golflengte van elkander verwijderd zijn, dan bezitten zij altijd eene gelijke, doch tegenovergestelde snelheid.* Dit geldt mede van zoodanige deeltjes, die $\frac{3}{2}$, $\frac{5}{2}$, $\frac{7}{2}$ enz. golflengten van elkander verwijderd zijn.

De golflengte is niet gelijk voor de verschillende kleuren; het grootste is die van de roode, het kleinst de golflengte van de violette stralen. Op hoedanige wijze men er toe geraakt is, om de golflengten der verschillend gekleurde stralen met bijzondere naauwkeurigheid te bepalen, kunnen wij hier niet verder vermelden.

Met de ongelijke golflengte staat ook de ongelijke slingeringsduur in verband; de trillingen van de violette stralen zijn het snelst, die der roode daarentegen het langzaamst.

Men ziet bijgevolg, dat het verschil der kleuren bij het licht, overeenkomt met het verschil in hoogte en diepte der toonen.

Van den aard en de wijze, hoedanig de lichtgolven van een lichtgevend punt zich rondom verspreiden, kan men zich eene zeer duidelijke voorstelling maken, uit de golven, welke op de oppervlakte van een stilstaand water ontstaan, zoo men eenen steen op hetzelve werpt, en die wij ook reeds boven hebben beschouwd. Van de plaats af, waar de steen in het water viel, verbreiden zich in de rondte kringvormige golven. De voortgaande beweging dezer golven uit het middelpunt der beweging, is echter niet daarvan afhankelijk, dat de afzonderlijke deeltjes eene voortgaande beweging hebben, want wanneer een ligt ligchaam, b. v. een stukje hout, in het bereik der golfbeweging op het water drijft, dan ziet men het enkel op- en ne-

dergaan. De waterdeeltjes op die plaats, waar de steen in het water viel, gaan bij afwisseling op en neder, en deze beweging plant zich rondom met gelijke snelheid voort. Alle waterdeeltjes derhalve, welke even ver van het middelpunt verwijderd zijn, zullen ook in gelijken slingeringstoestand verkeeren; d. i. zij zullen te gelijker tijd hunnen hoogsten, en op denzelfden tijd hunnen laagsten stand bereiken, en er zullen bijgevolg concentrische golfbergen en golfvalleijen worden daargesteld, zoo als dit in Fig. 315 is afgebeeld. Indien voor een bepaald oogenblik de geheel geteekende cirkels de golfbergen, en de gestippelde kringen de golfvalleijen voorstellen, dan zullen de golfbergen op eene zoodanige wijze naar buiten voortgaan, dat na verloop van korten tijd de golfbergen zich juist bevinden op de gestippelde plaatsen, en de golfvalleijen op de geheel geteekende kringen.

Fig. 315.



De gezamenlijke waterdeeltjes, welke tusschen twee op elkander volgende golfbergen of tusschen twee golfvalleijen zijn gelegen, stellen eene *golf* daar, terwijl de *golflengte* de afstand is van den eenen golfberg tot den naastvolgenden, of van eene golfvallei tot de volgende. Onderwijl een waterdeeltje, b. v. *a* van zijnen hoogsten stand nederdaalt en daarna weder tot den top van eenen golfberg rijst, zal de golfberg eene golflengte voortgaan.

Even als de watergolven zich in concentrische kringen om het middelpunt van trilling verbreiden, worden ook de trillingen des lichts in concentrische kogelvormige lagen rondom de lichtbron verspreid; de *oppervlakte der lichtgolven* is kogelvormig, ten minste zoo lang de veerkracht van den ether naar alle rigtingen even sterk blijft.

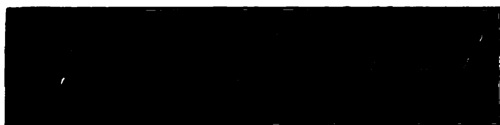
153 **Interferentie der lichtstralen.** Wij zullen nu de verschijnselen behandelen, dat er door de zamenkomst van twee lichtstralen nu eens een sterker licht, dan weder volkomene duisternis wordt te weeg gebragt.

Eene zoodanige, door de zamenwerking van twee lichtstralen te weeg gebragte, versterking of vermindering wordt bestempeld met den naam van *interferentie*. Deze kan men op de volgende wijze verklaren.

In Fig. 316 verbeelden de lijnen *A B* en *C D* twee oorspronkelijke (elementaire) lichtstralen, die, van eene lichtbron afkomstig, langs verschillende wegen komen naar het punt *a*, en zich daar onder eenen zeer scherpen hoek snijden. Wanneer de weg, welken de lichtstraal *C D* van de lichtbron tot aan het punt *a* heeft afgelegd, juist even groot, of 1, 2, 3 enz. golflengten grooter is dan de afstand tusschen het punt *a* en den anderen straal, dan zullen de beide stralen in *a* zoodanig zamenkomen, als dit in Fig. 316 is voorgesteld.

De golflijn *a b c d* enz. stelt voor eenig oogenblik de wederkee-

Fig. 316.



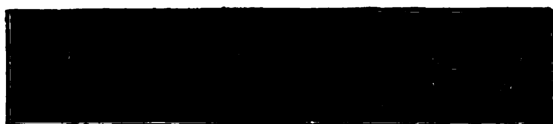
rige ligging voor van de etherdeeltjes, welke den straal voortplanten in de rigting *A B*. Het deeltje *b* heeft juist zijnen uitersten stand beneden *A B* bereikt, terwijl het deeltje *a* juist voorbij den evenwigtsstand gaat in de door den pijl aangeduide rigting.

De gestippelde golflijn stelt den gelijktijdigen slingeringstoestand voor van de etherdeeltjes, welke den lichtstraal *C D* voortplanten. Wanneer de beide stralen van de lichtbron tot aan het punt *a* gelijke wegen hebben doorloopen, dan zal het deeltje *a* door de trillingen van beide stralen gelijktijdig op dezelfde wijze worden aangedaan. Op het in onze teekening voorgestelde oogenblik wordt het deeltje *a* door het tweede golfstelstelsel eveneens naar beneden gedreven, en de intensiteit der trilling van hetzelve is derhalve tweemaal zoo groot, als wanneer deszelfs beweging enkel van de trillingen van den eenen lichtstraal afhankelijk ware.

Op dezelfde wijze moeten ook de trillingen van twee lichtstralen elkander ondersteunen, die op een punt te zamenkomen, en die in hunnen loop het veelvoud van eene geheele golflengte van elkander afwijken.

In Fig. 317 wordt de zamenkomst voorgesteld van twee

Fig. 317.



stralen, van welke de een den anderen een half of *een oneve* *veelvoud eener halve golfflengte* is vooruitgegaan. Door de trill gen van den eenen straal (de golflijn van dezen is geheel geteekend, terwijl die van den anderen straal gestippeld wordt het deeltje *a* naar boven gedreven op hetzelfde oo blik, op hetwelk het door de trillingen van den anderen st met gelijke kracht naar beneden wordt gedreven; deze b aan elkander tegenovergestelde krachten vernietigen derha elkander, en het deeltje *a* blijft in rust.

Tot hiertoe hebben wij enkel die gevallen beschouwd, welke het verschil van den loop der interfererende strale een veelvoud van eene geheele golflengte, of oneven veelvou van eene halve golflengte bedraagt. Wanneer het verschil in

den loop binnen deze grenzen bepaald blijft, dan wordt er door de interferentie der beide stralen ook eene werking voortgebragt, die tusschen de werkingen der gemelde grenzen ligt, d. i. er zal geene volkomene vernietiging der trillingen, maar ook geene verdubbeling van de intensiteit der trillingen kunnen plaats grijpen. De wezenlijke intensiteit der trillingen nadert meer tot eene dezer grenzen, naarmate de verschillen van den loop meer tot een oneven veelvoud eener halve golflengte of tot een veelvoud eener geheele golflengte naderen.

Wij gaan nu over tot de beschouwing van die verschijnselen, welke tot het grondbeginsel der interferentie kunnen worden teruggebragt.

154 **Buiging van het licht.** Zoo men het kleine zonnebeeldje op een van binnen zwart gekleurd horologie-glas, op eenen gepolijsten metalen knop of op den bol van eenen thermometer door eene zeer fijne cirkelvormige opening, zoodanig als men dezelve met eenen naald in een kaartenblad kan maken, beschouwt dan ziet men eene heldere ronden vlak, door onderscheidene gekleurde ringen omgeven. In Fig. 319 wordt dit verschijnsel voorgesteld.

Fig. 318.



Fig. 319.



Zoo men, in de plaats der ronde opening, eene zeer fijne regtlijnige spleet in het kaartenblad maakt, en door deze het zonnebeeldje op het horologie-glas beschouwt, of nog liever de lichtstreep op een in de zon gelegd, van binnen zwart gekleurd glazen buisje, dan neemt men het in Fig. 318 afgebeelde verschijnsel waar. In het midden van het lichtbeeld ziet men eene heldere streep, en aan beide zijden smallere gekleurde strepen, wier helderheid steeds naar buiten voortgaande afneemt.

Hoe fijner de ronde opening, en hoe smaller de spleet is, des te breeder zijn in het eene geval de kringen, in het andere de strepen.

Het vermelde verschijnsel wordt het eenvoudigst waargenomen, wanneer men behalve het kaartenblad een eenkleurig glas, b. v. een rood gekleurd glas, voor het oog houdt; want bij het zien door de spleet neemt men dan eene helder roode streep waar, welke aan beide zijden door eene zwarte streep begrensd is. Aan beide zijden volgen dan onderscheidene roode nevenbeelden, die steeds zwakker worden, en die telkens door eene zwarte streep van elkander gescheiden zijn, ten naastenbij zoodanig, als in de onderste rij van Fig. 319 is voorgesteld.

De heldere nevenbeelden zoowel als de heldere strepen in

het midden, worden door de zwarte strepen niet scherp begrensd, maar de overgang van het heldere licht tot de donkerste strepen gaat langzamerhand voort.

Fig. 320.



Door een groen glas neemt men hetzelfde verschijnsel waar, behalve dat de strepen smaller zijn, en deze zijn nog smaller, wanneer men een violet gekleurd glas bezigt, zoo als zulks in Fig. 320 is afgebeeld. Wij kunnen hier slechts in korte woorden de verklaring geven van dit verschijnsel.

Indien het licht van een genoegzaam ver verwijderd punt loodregt valt op de oppervlakte van het scherm *A B*, in hetwelk de opening *C D* aanwezig is, dan kan men al de in deze opening zich bevindende etherdeeltjes als even ver van de lichtbron verwijderd beschouwen, en derhalve verkeeren al deze etherdeeltjes in denzelfden slingeringstoestand. Ieder dezer etherdeeltjes evenwel plant zijne trillingen aan de andere zijde van het scherm naar alle zijden heen voort, als of het een zelflichtgevend deeltje ware; en derhalve is de graad van verlichting in eenig, achter het scherm gelegen punt *s*, enkel daarvan afhankelijk, welke werking er voortgebragt wordt door de interferentie van alle in *s* zamenkomende stralen, die van de onderscheidene punten der opening *C D* afkomstig zijn.

Fig. 321.



De lichtstralen, welke zich van *C D* regthoekig voortplanten naar de opening, zullen elkander altijd ondersteunen, en daarom is het beeld in het midden helder. Wanneer men echter overgaat tot de punten, welke ter zijde gelegen zijn, dan zullen al de stralen welke hier zamenkomen elkander niet meer ondersteunen; de lichtsterkte moet derhalve naar de zijden heen afnemen, tot op een punt, in hetwelk al de uit *C D* zamenkomende lichtstralen volkomen ophouden; en hier is het, dat men eene donkere streep waarneemt. Nog verder van het midden verwijderd, komen er weder punten, op welke geene volkomene opheffing der uit *C D* zamenkomende lichtstralen plaats grijpt, en waar dus weder licht wordt waargenomen; daarop volgen weder donkere strepen, in welke alle lichtgolven elkander wederkeerig vernietigen, enz.

De omstandigheid, dat de heldere en donkere strepen van verschillend gekleurde stralen niet overeenkomen, is daarvan afhankelijk, dat zij ongelijke golflengten bezitten.

Indien al de verschillend gekleurde stralen zamenkomen,

en men derhalve door de fijne opening het witte zonnebeeldje, zonder gekleurd glas te bezigen, beschouwt, dan zal men in het midden eene witte streep zien, omdat hier het maximum der lichtsterkte van alle kleuren wordt daargesteld. De nevenbeelden echter zijn allen gekleurd, en nergens ziet men eene volkomen witte of eene geheel zwarte streep, want daar, waar voor de eene kleur eene zwarte streep is, is er voor andere kleuren eene heldere streep enz.

De verklaring der buigings-verschijnselen is hier slechts in korte bewoordingen gegeven; doch eene uitvoeriger uitéénzetting zou ons te verre leiden.

De gedaante der buigings-verschijnselen is afhankelijk van de gedaante der opening; ook wordt zij veranderd door het aantal der openingen.

Wanneer er twee fijne cirkelvormige openingen in het scherm zeer digt bij elkander aanwezig zijn, ten naastenbij zoo als hier .., dan ziet men, op een lichtgevend punt starende, wederom dezelfde kringen, Fig. 319, alsof er slechts eene enkele opening ware, maar deze kringen zijn doorsneden door regte zwarte strepen, welke regthoekig staan op de rigting der verbindingslijn van beide openingen. Deze zwarte strepen loopen ook door de heldere vlak in het midden.

Uit deze proef blijkt duidelijk, dat er door de gezamenlijke werking van twee lichtstralen duisternis kan ontstaan, of, met andere woorden, dat het uitwerksel van eenen lichtstraal door dat van eenen anderen kan worden opgeheven. Wanneer het licht door slechts ééne opening invalt, dan ziet men Fig. 319; maar zoodra daarbij eene tweede opening komt, dan doen er zich zwarte strepen voor in het heldere gedeelte van dit beeld, en hier wordt derhalve de werking der lichtstralen, welke door de eene opening intreden, opgeheven door die stralen, welke door de andere opening invallen.

Zeer fraaije verschijnselen van lichtbuiging verkrijgt men, zoo men door eene reeks van fijne openingen, b. v. door eene rij fijne evenwijdige lijnen, op eene glasplaat getrokken, heenziet. Tot dezelfde soort van verschijnselen behooren ook die, welke men waarneemt, wanneer men door den baard van den veder van eenen kleinen vogel naar een lichtgevend punt ziet, ja zelfs wordt dit verschijnsel reeds zeer fraai waargenomen, zoo men, in de plaats van een lichtgevend punt, slechts een kaarslicht bezigt.

Indien men op eene glazen plaat zoogenaamd heksenmeel (semen lycopodii) strooit, en daar door heen naar eene kaars ziet, dan ziet men eene fraaije, uit onderscheidene ringen bestaande glorie. Ook dit is een buigings-verschijnsel.

155 **Kleuren van dunne plaatjes.** Ieder doorzigtig ligchaam doet zich levendig gekleurd voor, wanneer het slechts van genoegzaam dunne lagen is, zoo als men dit het gemakkelijkst aan zeepbellen kan waarnemen. De splintertjes van eenen voor de glasblazers-lamp tot berstens opgeblazenen glazen kogel, schemeren

van de meest schitterende kleuren. Dergelijke kleuren neemt men ook waar, wanneer een droppel olie (het liefst eene aetherische olie, b. v. terpentijn-olie) op de oppervlakte van het water wordt uitgebreid; wanneer een glinsterend stuk metaal, in het vuur verhit, langzamerhand met eene laag oxyde wordt overtogen (het aanloopen van het staal). Ook dunne luchtlagen brengen zoodanige kleuren voort, gelijk men dikwijls waarneemt aan de bersten in eenigzins dikke glazen.

Met de meeste regelmatigheid doen deze kleuren zich voor onder de gedaante van kringen, zoo men eene glazen lins van groote brandwijdte op eene vlakke glazen plaat, of omgekeerd de vlakke glazen plaat op de lins legt. NEWTON, door wien deze kleuren-ringen, welke ook naar hem gewoonlijk NEWTON'sche ringen genoemd worden, zijn opgemerkt, bezigde linzen, wier krommingsstraal 15—20 el bedroeg. Daar ter plaatse, waar de glazen plaat met de lins in aanraking komt, ziet men in het teruggekaatste licht eene zwarte vlak, die omgeven is met gekleurde concentrische ringen, welke naar buiten steeds smaller en doffer worden, ongeveer zoodanig als in Fig. 322 is voorgesteld.

Fig. 322.



Indien men de kringen beschouwt door een eenkleurig glas, dan ziet men slechts bij afwisseling heldere en donkere ringen. Voor rood licht zijn deze ringen wijder dan voor groen, voor groen wijder dan voor violet. Indien men wit licht bezigt, in plaats van gekleurd licht, dan kan men nergens meer eenen geheel zwarten en nergens meer eenen geheel witten ring zien, omdat noch de heldere noch de donkere ringen van de verschillende kleuren meer zamen komen, en men ziet overal kleuren, welke niet meer zuivere kleuren van het spectrum, maar gemengde kleuren zijn.

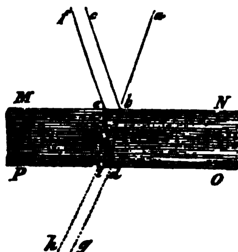
Deze kleurverschijnselen kan men op de navolgende wijze verklaren:

Indien er lichtstralen op eenige laag van een doorzigtig ligchaam vallen, dan worden zij ten deele aan de bovenste, en gedeeltelijk aan de onderste oppervlakte teruggekaatst, en de door beide vlakten teruggekaatste lichtstralen zullen interfereren, en elkander, naarmate van het verschil der doorgeloopen wegen, of wederzijds vernietigen, of wel versterken.

Laten wij de wijze, waarop dit plaats grijpt, eenigzins nader beschouwen. In Fig. 323 stelle $MNOP$ eene dunne laag voor van een of ander doorzigtig ligchaam, op welke een bundel van evenwijdige stralen $a\ b$, valt. Deze straalbundel wordt nu gedeeltelijk in de rigting $b\ c$ teruggekaatst, maar gedeeltelijk

naar *d* gebroken. De gebroken stralen ondergaan echter aan de oppervlakte *O P* eene tweede verdeeling, het teruggekaatste gedeelte treedt bij *e* naar buiten in dezelfde rigting als de reeds aan de eerste oppervlakte *M N* teruggekaatste straalbundel, en bijgevolg zullen de beide straalbundels *b c* en *e f* moeten interfereren.

Fig. 323.



Hoe komt het nu evenwel, dat alleen dunne lagen zoodanige kleuren aanbieden, en dat plaatjes van eene zekere dikte ze reeds niet meer doen waarnemen? Laat ons, tot gemakkelijker overzigt, aannemen, dat de lichtgolven der violette stralen half zoo groot zijn als die van de roode stralen (zij zijn in der daad iets meer dan half zoo groot), dan zullen ook de diameters der violette ringen half zoo groot zijn als die der roode, en op dezelfde plaats, waar de eerste donkere ring voor het roode licht is, ligt ook de tweede donkere ring voor violet en een heldere ring voor eene, ongeveer het midden tusschen rood en violet houdende kleur, welke kleur op die plaats verre overheerschend is.

Op de plaats, waar de zevende donkere ring voor het roode licht gelegen is, zal de veertiende donkere ring voor violet licht liggen, op die zelfde plaats bevinden zich derhalve nog zes donkere ringen en zeven heldere ringen voor tusschengelegene kleuren. Wanneer derhalve b. v. het uiterste rood de grens tusschen rood en oranje, tusschen oranje en geel, geel en groen, groen en blaauw, blaauw en indigo, indigo en violet en het uiterste violet in minimum aanwezig zijn, dan zijn daarentegen de middelste roode, oranje, gele, groene, blaauwe, indigo-kleurige en violette stralen in maximum aanwezig, geene dezer kleuren kan bijzonder overheerschen, en te zamen stellen zij de witte kleur daar.

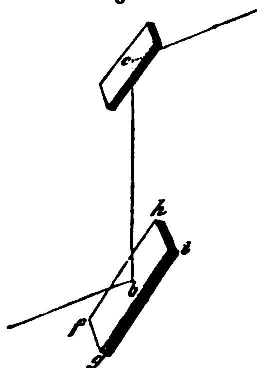
156 **Polarisatie van het licht.** Wanneer men eene plaat snijdt uit een doorzigtig kristal van IJslandsch-kristal, of tourmalijn, welker oppervlakte evenwijdig loopt met de as van de zuil, waarin dit mineraal kristalliseert, en men ziet door eene zoodanige tourmalijn-plaat naar een glad tafelblad, hetwelk het licht van den hemel ongeveer onder eenen hoek van 30—40° naar het oog terugkaatst, dan ziet men de gladde oppervlakte nu eens helder, dan weder donker, naarmate men de tourmalijn-plaat draait, en deze laat derhalve niet bij elken stand de door het tafelblad teruggekaatste stralen door. De lichtstralen moeten derhalve door de terugkaatsing op de gladde tafel eene eigenaardige wijziging hebben ondergaan, welke men met den naam van *polarisatie* bestempelt.

Indien men de onder dergelijke omstandigheden door eene glazen plaat teruggekaatste stralen met de tourmalijn-plaat had onderzocht, dan zou men hetzelfde verschijnsel hebben waargenomen, en bijgevolg worden de lichtstralen ook gepolariseerd door de terugkaatsing op een glazen oppervlak.

De tourmalijn-plaat kan mede vervangen worden door eenen glazen spiegel.

Indien een gewone lichtstraal *a b*, Fig. 324, op eene vlakke glazen plaat *f g h i* valt, onder eenen hoek van 35° 25', dan wordt hij grootendeels naar de gewone wetten in de rigting van *b c* teruggekaatst. De in de rigting *b c* teruggespiegelde straal is nu *gepolariseerd.* Deze verschijnselen kan men het best waarnemen, zoo de spiegel *f g h i* aan de achterzijde zwart gekleurd is, want anders worden er in de rigting *b c*, behalve de door reflexie gepolariseerde stralen, ook zoodanige voortgeplant, die afkomstig zijn van beneden den spiegel aanwezige voorwerpen, en die door denzelven zijn heengebogen.

Fig. 324.

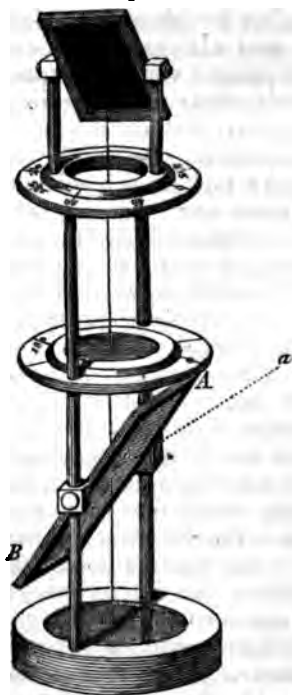


Wanneer de door reflexie gepolariseerde straal *b c* op eene tweede, eveneens aan de achterzijde zwart gekleurde, glazen plaat valt, welke in evenwijdige rigting met de onderste geplaatst is, dan maakt de straal ook met deze plaat eenen hoek van 35°, en het terugkaatsings-vlak van den bovensten spiegel valt zamen met dat van den ondersten. Bij dezen stand van den tweeden spiegel wordt de straal *b c* teruggekaatst gelijk elke gewone lichtstraal; maar wanneer men den bovensten spiegel zoodanig draait, dat de omdraaijings-as in de rigting van den straal *b c* komt, dan blijft wel de hoek, welken de invallende straal *b c* met de spiegelende oppervlakte maakt, onveranderd 35°, maar der beide spiegels houden op, evenwijdig te zijn, en het terugkaatsingsvlak van den bovensten spiegel valt niet meer zamen met dat van den ondersten. Zoo men nu op de bovenvermelde wijze den bovensten spiegel uit den met den ondersten evenwijdigen stand draait, dan zal de intensiteit van den ten tweeden male teruggekaatsten straal des te meer afnemen, hoe grooter de hoek wordt, dien het terugkaatsingsvlak van den bovensten spiegel met dat van den ondersten maakt, totdat deze hoek 90° geworden is, — met andere woorden, tot dat de terugkaatsingsoppervlakten van beide spiegels zich onder eenen regten hoek overkruisen. Bij dezen stand wordt de straal *b c* door den bovensten spiegel *in het geheel niet meer* teruggekaatst, hetgeen toch het geval zou moeten zijn, zoo *b c* een gewone lichtstraal ware. Bij verder voortgezette ronddraaijing van den bovensten spiegel, neemt de intensiteit van den teruggekaatsten straal langzamerhand weder toe, totdat zij weder haar maximum bereikt, wanneer de geheele ronddraaijing 180° bedraagt. Bij dezen stand vallen de terugkaatsingsvlakken der beide spiegels wederom zamen. Draait men nog verder rond, dan wordt de door den bo-

vensten spiegel teruggekaatste straal wederom zwakker, en verdwijnt geheel, wanneer de terugkaatsings-vlakken van beide spiegels weder regthoekig staan, derhalve bij eene omdraaijing van 270° enz.

De toestel, aan welken men twee polarisatie-spiegels zoodanig heeft aangebragt, dat daarmede de boven beschreven proef kan worden bewerkstelligd, heet polarisatie-toestel. De meest eenvoudige inrigting van eenen polarisatie-toestel is de navolgende: Aan het eene uiteinde van eene metalen of houten buis, wordt een aan de keerzijde zwartgemaakte spiegel zoodanig bevestigd, dat hij eenen hoek van 35° maakt met de as van de buis, en dat derhalve de stralen, die onder eenen hoek van 35° op den spiegel vallen, zoodanig worden teruggekaatst, dat zij in de rigting van deze as door de buis heengaan. Aan het andere uiteinde der buis bevindt zich een ring, wiens as zamenvalt met de as van de buis, en die derhalve in een op de as regthoekig vlak kan worden rondgedraaid. Aan dezen ring nu is een tweede van achter zwart gekleurde spiegel bevestigd, die eveneens eenen hoek van 35° maakt met de as van de buis; door den ring rond te draaijen, kan men ook den spiegel ronddraaijen, en deze laatste kan daardoor in de boven vermelde standen worden geplaatst.

Fig. 325.



De boven beschreven vorm van polarisatie-toestel is evenwel ongeschikt; doch de doelmatigste vorm is die van den in Fig. 325, op $\frac{1}{4}$ van de natuurlijke grootte, afgebeelden polarisatie-toestel. In een rond voetstuk, hetwelk niet te ligt mag zijn, op dat de toestel de noodige stevigheid behoude, zijn in den rand, regt tegenover elkander, twee staven geplaatst, en tusschen dezelve een raampje *A B*, waarin eene plaat van geslepen spiegelglas is bevat. Dit raampje, en daarmede de spiegel, kan, door middel van twee tappen, worden gedraaid om eene horizontale as, zoodat men den spiegel naar verkiezing elken stand ten opzigte van de loodlijn kan geven. De spiegel wordt echter zoodanig geplaatst, dat zijne oppervlakte eenen hoek van 35° maakt met de loodlijn. Indien er bij dezen stand van den spiegel een lichtstraal *a b* onder eenen hoek van 35° op den spiegel valt, dan gaat hij ten deele door het glas heen, en dit gedeelte komt verder niet in

aanmerking, maar gedeeltelijk wordt hij in de rigting *b c* loodregt naar beneden teruggekaatst. Deze teruggekaatste straal is nu *gepolariseerd*, en een door de lijnen *a b* en *b c* getrokken loodregt vlak is zijn *polarisatie-vlak*.

Op het voetstuk vindt men eenen horizontaal geplaatsten gewonen spiegel, waarop de gepolariseerde straal *b c* loodregt valt. Deze wordt derhalve teruggekaatst in dezelfde rigting, in welke hij op den spiegel gevallen was, gaat door den polarisatie-spiegel heen, en komt in loodregte rigting naar het bovenste gedeelte van den toestel. De bovenste uiteinden der staven (het middelste gedeelte van den toestel zij voor het oogenblik daargelaten) dragen eenen in graden verdeelden ring. Het nulpunt van deze verdeeling is zoodanig gesteld, dat, wanneer men zich een loodregt vlak denkt door de deelpunten 0 en 180°, dit vlak zamenvalt met het terugkaatsings-vlak van den ondersten spiegel, en bijgevolg met het polarisatie-vlak der door den ondersten spiegel gepolariseerde stralen. In dezen verdeelden ring kan een andere ring worden rondgedraaid, op welken, regt tegenover elkander, twee staafjes zijn geplaatst, tusschen welke een spiegel van zwart glas of een van achter zwart gekleurde spiegel even zoodanig bevestigd is, als de onderste polarisatie-spiegel tusschen de staven. Even als de onderste om eene horizontale as draaibaar, kan de zwarte spiegel gemakkelijk zoodanig gesteld worden, dat hij eenen hoek van 35° 25' met de loodlijn maakt. De bewegelijke ring, op welken de pas vermelde staafjes staan, is aan den rand eenigzins scherper, en juist in het midden der vaste helft van den ring is een index op den scherpen rand getrokken. Indien men den ring, welke den bovensten spiegel draagt, zoodanig ronddraait, dat de index met het nulpunt der verdeeling zamenvalt, dan komen de beide spiegels in hetzelfde vlak te liggen. Dit is mede het geval, wanneer de index op 180° staat. Zoo de wijzer op 90° (zooals in onze figuur) of op 270° staat, dan maakt het terugkaatsings-vlak van den bovensten spiegel eenen regten hoek met het terugkaatsings-vlak van den ondersten polarisatie-spiegel.

De verschijnselen der gewone polarisatie, welke men met dezen toestel kan waarnemen, zijn de volgende: Wanneer beide spiegels evenwijdig staan, en derhalve de index van den ring met den zwarten spiegel op 0° staat, dan kaatst de bovenste spiegel de stralen, welke van onder op denzelven vallen terug, en het gezigtsveld is dus helder. Zoo men evenwel den ontbindings-spiegel (zoo wordt de bovenste spiegel genoemd) uit dezen stand draait, dan vermindert de intensiteit van het door denzelven teruggekaatste licht steeds meer en meer, en wordt 0°, wanneer de index op 90° staat. In dezen stand worden de stralen, welke van onder af op den zwarten spiegel vallen, niet meer door denzelven teruggekaatst, en het gezigtsveld doet zich donker voor. Zoo men nog verder draait, wordt hetzelve langzamerhand weder helder, en wanneer de index op

180° staat, is de lichtsterkte weder gelijk aan die, welke bij 0° werd waargenomen. Het licht neemt evenwel weder af, wanneer men nog verder dan 180° draait, en het gezigtsveld wordt voor de tweede maal donker, wanneer de index op 270° staat.

Het verstaat zich van zelfs, dat gedurende deze ronddraaijing de zwarte spiegel eenen onveranderlijken stand ten opzigte van de loodlijn moet behouden. Bij alle standen maakt de bovenste spiegel eenen hoek van 35°25′ met de loodlijn.

Stelt men, zonder overigens iets aan den toestel te veranderen, den ondersten spiegel anders ten opzigte van de invallende stralen, b. v. zoodanig, dat hij eenen hoek van 25° maakt met de loodlijn, dan zullen die stralen, welke den ondersten polarisatie-spiegel onder eenen hoek getroffen hebben, naar den bovensten spiegel van den toestel komen. Indien men nu de boven beschrevene proeven herhaalt, dan vindt men, dat het van den bovensten spiegel teruggekaatste licht nimmer geheel nul wordt. Wanneer de bovenste spiegel zoodanig gesteld is, dat zijn terugkaatsings-vlak dat van den ondersten overkruist, wanneer derhalve de index van de onderste verdeeling bij 90° staat, dan zal hij in dezen stand wel minder licht terugkaatsen dan bij elken anderen stand, doch er wordt altijd nog een gedeelte der van beneden komende stralen teruggekaatst.

Hieruit laat zich opmaken, dat de stralen, welke onder eenen hoek van 25° van den ondersten polarisatie-spiegel worden teruggekaatst, wel gedeeltelijk, maar niet volkomen gepolariseerd zijn. Hoe meer de hoek, dien de stralen, welke op den ondersten spiegel vallen, met deszelfs oppervlakte maken, van 35° verschilt, des te onvolkomener is de polarisatie. De hoek, waaronder de volkomene polarisatie plaats grijpt, (voor glas derhalve de hoek van 35°25′) wordt *polarisatie-hoek* genoemd.

Metalen oppervlakten bezitten de eigenschap niet, om door terugkaatsing het licht te polariseren, en men kan daarom ook geene gewone spiegels, op de achterste oppervlakte met tin en kwikzilver belegd, tot proeven voor polarisatie bezigen.

Volgens de vibratie-theorie verklaart men de polarisatie door de onderstelling, dat alle trillingen van eenen gepolariseerden lichtstraal plaats grijpen in een en hetzelfde vlak, terwijl de trillingen van eenen gewonen lichtstraal plaats grijpen in alle mogelijke, op deszelfs rigting regthoekige lijnen.

157 **Dubbele straalbreking.** Wanneer men eenen rhomboëder van kalkspaath op een stuk papier legt, waarop men een zwart punt geteekend of eene zwarte lijn getrokken heeft, dan ziet men het punt of de lijn dubbel.

Zoo men uit kalkspaath een prisma vervaardigt, dan ziet men door het prisma van ieder voorwerp twee beelden.

Deze proeven bewijzen, dat elke lichtstraal, welke op een prisma van kalkspaath valt, in tweeën gescheiden wordt, welke beide niet dezelfde wetten van breking volgen, dat het kalkspaath de eigenschap van de dubbele breking bezit.

Indien men de beide beelden, die men door een prisma van kalkspaath ziet, door eene tourmalijn-plaat onderzoekt, dan bevindt men, dat de beide stralen gepolariseerd zijn; want naarmate men de tourmalijn-plaat draait, verdwijnt nu eens het eene, dan weder het andere beeld; en bij gevolg staat het vlak, in hetwelk de slingeringen van den eenen straal plaats grijpen, regthoekig op het vlak van slingering van den anderen straal.

Het kalkspaath is niet het eenige ligchaam, hetwelk eene dubbele straalbreking bezit; want deze eigenschap bezitten alle gekristalliseerde stoffen, welke niet tot het regelmatige stelsel behooren.

In ieder dubbel-straalbrekend kristal zijn eene of twee rigtingen, in welke geene dubbele straalbreking plaats grijpt; deze rigtingen dragen den naam van optische assen.

De ontwikkeling der wetten van de dubbele straalbreking zou ons hier te verre voeren.

Zoo men een zeer dun plaatje van gekristalliseerd gips op het middelste plaatje van den polarisatie-toestel, Fig. 336, legt, dan doet het zich gekleurd voor, en wel wordt, onder overigens gelijke omstandigheden, de kleur veranderd, naarmate der dikte van het plaatje.

Indien een plaatje tusschen twee regthoekig met elkander geplaatste spiegels eene bepaalde kleur aanbiedt, dan ziet men, wanneer de spiegels evenwijdig geplaatst zijn, de complementaire kleur.

Deze kleurverschijnselen ontstaan daardoor, dat de beide stralen, tot welke het invallende licht in het kristal-plaatje herleid wordt, (de gipskristallen zijn dubbel-straalbrekend), het plaatje met eene ongelijke snelheid doorloopen, en na de reflexie aan den bovensten spiegel interfereren. De kleuren ontstaan derhalve ingevolge dezelfde wetten als de NEWTON'sche kleuren, en ook komen de kleurschakeringen van dunne gipsplaatjes geheel overeen met de NEWTON'sche kringen.

Ook andere kristalplaatjes bieden zulke kleuren aan, wanneer zij slechts dun genoeg zijn.

Zoo men uit een dubbel-straalbrekend kristal eene plaat snijdt, wier oppervlakte loodregt staat op eene optische as, dan biedt zij, in den polarisatietoestel of tusschen twee tourmalijn-platen gebragt, zeer fraaije gekleurde kringen aan, wier ontstaan even zoo te verklaren is als de kleuren van het gips-plaatje.

ZESDE HOOFDSTUK.

Scheikundige werkingen van het licht.

Invloed van het licht op scheikundige verbindingen en ontledingen. 158

Bij de gewone temperatuur verbinden het chlorium-gas en

waterstofgas in het duister zich niet met elkander; doch zoodra men het licht den vrijen toegang laat, grijpt de verbinding plaats,— en wel langzaam bij het gewone daglicht, en onder ontploffing in het zonnelicht. — Het in water opgeslorpte chloriumgas onttrekt slechts onder de inwerking van het licht langzamerhand de waterstof aan het water; phosphorus, onder water bewaard, wordt onder den invloed van het zonnelicht in rood phosphoroxyde omgezet. — Geconcentreerd salpeterzuur wordt in het licht, reeds bij de gewone temperatuur, gedeeltelijk in zuurstof en salpeterig zuur ontleed; het witte chloor-zilver wordt door het licht eerst violet gekleurd en eindelijk geheel en al zwart, doordien er een gedeelte van het chlorium ontwijkt enz. Wij hebben hier slechts eenige der meest in het oog loopende voorbeelden van den invloed des lichts op scheikundige verbindingen en ontledingen aangevoerd; doch in alle scheikundige werken vindt men daarvan nog vele voorbeelden.

De invloed van het licht op de ontleding van organische stoffen is zeer opmerkelijk; want het bevordert namelijk de verbinding van de zuurstof van den dampkring met de koolstof en de waterstof der organische zelfstandigheden; van daar ook het verbleeken van plantaardige kleurstoffen in het licht, vooral in het zonnelicht; het geel worden van de terpentijn-olie, het groen worden van de gele guajak-hars, wanneer men eene oplossing daarvan in wijngeest, op papier gestreken, aan het licht blootstelt enz.

Het licht is volstrekt noodzakelijk voor den groei der levende planten, daar deze in de duisternis onmogelijk eene krachtige ontwikkeling kunnen erlangen, en daarin spoedig een ziekelijk voorkomen krijgen; terwijl de bladen en bloesems bleek blijven. Planten, die in vertrekken gekweekt worden, groeijen, gelijk men weet, altijd naar het venster heen.

De groene deelen der planten slorpen koolstofzuur op uit de lucht; dit koolstofzuur wordt ontleed, de koolstof blijft als bestanddeel der plant achter, terwijl de zuurstof weder in den dampkring wordt uitgeademd. Deze ontleding van het koolstofzuur evenwel, en de uitademing van zuurstof in de lucht, *grijpt enkel plaats onder den invloed van het licht.* Men kan zich hiervan gemakkelijk overtuigen, zoo men eenen verschen groenen tak onder eenen met koolstofzuur-houdend water gevulden glazen klok brengt; bij blootstelling aan het licht ontwikkelen er zich dan aan de oppervlakte der bladen eene menigte luchtblazen, die in het bovenste gedeelte der glazen klok oprijzen; het hier verzamelde gas is zuurstofgas. Deze ontwikkeling van gas ontstaat niet in het donker; zij houdt ook op, zoodra al het vrije koolstofzuur aan het water onttrokken is.

Over het algemeen is de scheikundige werking der blaauwe en der violette stralen veel sterker dan die der roode stralen.

159 **Photographie.** Reeds WEDGEWOOD was op het denkbeeld gekomen, om van de zwarte kleuring van het chloorzilver bij

de inwerking van het licht gebruik te maken, ten einde de beelden der camera obscura bestendig te doen blijven; en inderdaad bragt DAVY door middel van een zon-mikroskoop de beelden van kleine voorwerpen over op chloorzilver-papier. Deze beelden worden evenwel door de voortdurende inwerking van het licht op het chloorzilver weder vernietigd. RIEPCE bragt het in de kunst om zoodanige *lichtbeelden* bestendig te doen zijn, reeds verder; maar eerst DAGUERRE vond, na vele moeijelijke proeven, eene handelwijze uit, welke bijna ongeloofelijke resultaten levert.

De stof, op welke de *lichtbeelden* van DAGUERRE worden daargesteld, is eene met eene dunne laag zilver overtogene koperen plaat. Na behoorlijk gereinigd te zijn, wordt zij op eene vierhoekige porceleinen schaal gelegd, in welke eene verzadigde oplossing van chloor-jodium bevat is, en hier zoo lang aan de dampen van het jodium blootgesteld, tot dat er zich eene goudgele of violette laag van jodium-zilver op de plaat gevormd heeft. Nu wordt de plaat, voor alle verdere inwerking van het licht beschut, juist op die plaats van de camera obscura gesteld, waar een scherp beeld van het af te beelden voorwerp ontstaat. Na verloop van eenen zekeren tijd, wiens duur van velerlei omstandigheden afhankelijk is, wordt de plaat uit de camera obscura genomen. Men ziet dan nog geen spoor van het beeld; doch dit komt weldra te voorschijn, wanneer men de plaat boven eene met kwikzilver bedekte, eenigzins verwarmde plaat brengt. Zoodra het beeld duidelijk genoeg te voorschijn gekomen is, legt men de plaat in eene oplossing van onderzwaveligzure soda, of, bij gebreke daarvan, in eene kokende oplossing van keukenzout, waardoor het overige jodium op de plaat wordt opgelost, en eene verdere inwerking van het licht onmogelijk gemaakt wordt.

Op die plaatsen der met jodium bedekte plaat, op welke de heldere gedeelten van het beeld der camera obscura gevallen waren, heeft het licht namelijk reeds zijne werking uitgeoefend, voor en aleer dit reeds voor het oog waarneembaar wordt; want die gedeelten van de plaat, welke het meest aan het licht waren blootgesteld, hebben de eigenschap verkregen, om kwikzilverdampen te condenseren, en daarop wordt derhalve het kwikzilver onder den vorm van uiterst fijne korreltjes gepraecipiteerd; terwijl op die plaatsen, op welke het licht niet heeft ingewerkt, een zoodanig praecipitaat niet ontstaat. Nadat nu op deze laatste plaatsen het in het geheel niet ontleede jodiumzilver is afgewasschen, heeft men op de heldere gedeelten van het beeld het fijne kwikzilverstof, en daar waar het licht niet heeft ingewerkt, den meest schitterenden zilver-spiegel. Wanneer men nu de plaat zoodanig houdt, dat de van donkere voorwerpen afkomstige stralen door den spiegel in het oog worden teruggekaatst, dan stelt deze zilver-spiegel den donkeren grond daar, op welken de heldere gedeelten zigtbaar

worden door het licht, hetwelk door de kwikzilver-bolletjes naar alle zijden verstrooid wordt.

Indien men de plaat te lang in de camera obscura laat verblijven, dan openbaart zich de werking van het licht op de met jodium bedeelde plaat onmiddelijk, doordien het jodiumzilver daar ter plaatse wordt zwart gekleurd, waar het licht het sterkste werkt. Hierdoor ontstaat dan een *negatief* beeld, d.i. een zoodanig, waarbij de donkere plaatsen van het beeld beantwoorden aan de heldere plaatsen van het voorwerp, en omgekeerd.

Zoo men de plaat zoo lang in de camera obscura heeft gelaten, dat men de werking des lichts op dezelve kan waarnemen, dan is het geschikte oogenblik om eene *Daguerreotype* te verkrijgen, reeds voorbij.

De *Daguerreotype* kan nimmer de geheel juiste verhouding van licht en schaduw wedergeven, omdat de verschillende kleuren zoo ongelijk op de met jodium bedeelde plaat inwerken. De groene stralen oefenen bijna in het geheel geene werking uit, waarom dan ook bij teekeningen van deze soort de boomen zich altijd zeer donker voordoen. Ook de roode stralen zijn niet zeer werkzaam. Door deze omstandigheid verliezen de op bovengemelde wijze verkregen portretten dikwijls veel aan gelijkenis.

Talbot volgt eene geheel andere methode tot het daarstellen van zijne photograpische beelden. Hij bedient zich van eene bijzondere, voor de inwerking des lichts gevoelige, soort van papier, welke bereidingswijze wij hier niet nader kunnen beschrijven, en hetwelk hij *kalotype* papier noemt. Op dit papier wordt in de camera obscura een negatief beeld voortgebragt, en dit beeld wordt, door behandeling met bromiumpotasch, op het papier bestendig overgebragt.

MAGNETISMUS EN ELECTRICITEIT.

EERSTE AFDEELING.

MAGNETISMUS.

EERSTE HOOFDSTUK.

Wederkeerige werking der magneten op elkander en magnetische ligchamen.

In den schoot der aarde vindt men sommige ijzer-ertsen, 1
welke de eigenschappen bezitten, van het ijzer aan te trekken; men geeft aan dezelve den naam van *natuurlijke magneten*. Het ijzer kan deze eigenschap voorbijgaand verkrijgen, terwijl zij zich aan het staal voortdurend kan mededeelen. Zoodanige uit staal vervaardigde magneten, noemt men *kunst-magneten*. Tot onderzoek der wetten van het magnetisme, bezigt men liefst kunst-magneten, omdat men aan deze gemakkelijk eene doelmatige gedaante kan geven. Gewoonlijk geeft men aan de kunstmagneten de gedaante van staven, naalden, of van hoefijzers.

Magnetische polen. Zoo men eenen magneet-staaf in ijzervijlsel 2
dompelt, en denzelven vervolgens daaruit weder verwijdert, dan zal men zien, dat het ijzervijlsel daaraan niet overal even goed blijft hangen, en in het midden onmiddellijk afvalt. Hier schijnt de magneet-staaf in het geheel geene aantrekkende werking op het ijzervijlsel uit te oefenen; van het midden naar de uiteinden, de *polen*, van den magneet neemt de aantrekkende kracht toe, aangezien daar steeds meer en meer ijzerdeelen blijven aanhangen, zoo als uit Fig. 326 blijkt.

Fig. 326.

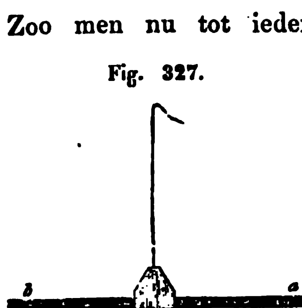


Op het eerste gezigt zou men gelooven, dat, in geval men eenen magneet op het midden dwars doorbreekt (met eenen gemagnetiseerden staaldraad kan men deze proeven gemakkelijk nemen) ieder dier halve stukken geen volkomene magneet meer zou kunnen zijn, en dat deze slechts aan het eene uiteinde het ijzer zouden kunnen aantrekken, en niet aan het andere. De ondervinding leert evenwel het tegendeel, want ieder stuk is een volkomene magneet, die een midden en twee polen bezit.

De gelijknamige polen trekken elkander aan, en de ongelijknamige 3
stooten elkander af. In Fig. 327 is een magneet voorgesteld, die, in een bandje van papier horizontaal opgehangen is.

Zoo men nu tot ieder der beide polen *a* en *b* denzelfden pool van eenen anderen magneet brengt, dan wordt de pool *a* aangetrokken, terwijl *b* wordt afgestooten. Men noemt nu de polen *a* en *b* *ongelijknamig*, omdat zij op verschillende wijzen op denzelfden pool inwerken. Zoo men nu den laatsten magneet omkeert, en dan met zijnen anderen pool nabij den magneetstaaf komt, dan zal het omgekeerde plaats grijpen, *a* wordt afgestooten en *b* aangetrokken. De beide polen van den tweeden magneet zijn bijgevolg ook van eenen verschillenden aard, zij zijn ook ongelijknamig. Op deze wijze kan men aantoonen, dat de beide polen van iederen magneet ongelijknamig zijn.

Fig. 327.



Zoo men bij den opgehangenen magneetstaaf achtereenvolgend twee onderscheidene magneten brengt, dan zal het gemakkelijk vallen, om aan elken derzelve den pool te vinden, die den pool *a* van dien magneetstaaf aantrekt, en *b* afstoot. Bestempelen wij dezen pool van den eersten magneet met *n*, en den pool van den tweeden, op dezelfde wijze werkenden magneet met *n'*, dan zijn *n* en *n'* de *gelijknamige* polen dezer beide magneten. De tweede pool van den eersten magneet zij *m*, en die van den anderen *m'*, dan zal de pool *m*, op dezelfde wijze als de pool *m'*, den pool *a* van den opgehangenen magneetstaaf afstooten, en den pool *b* aantrekken. De beide polen *m* en *m'* zijn insgelijks *gelijknamig*.

Hangen wij nu den magneet, wiens polen wij door *m* en *n* hebben aangeduid, zoodanig, dat hij in een horizontaal vlak vrij kan ronddraaijen, en zoo wij nu den tweeden magneet nabij denzelven brengen, dan vinden wij, dat de polen *m* en *m'* elkander afstooten, en desgelijks *n* en *n'*; en dat derhalve de *gelijknamige polen elkander afstooten*. De polen *m* en *n'*, *n* en *m'*, bijgevolg de *ongelijknamige polen*, *trekken elkander aan*.

In de beide helften derhalve, in welke de magneet verdeeld wordt door zijne middellijn, zijn twee krachten gelegen, die aanvankelijk volkomen gelijkaardig schijnen, omdat zij beide op dezelfde wijze op het ijzer werken, maar die in der daad twee geheel tegenovergestelde krachten zijn. De middellijn is derhalve de grens van twee tegenovergestelde krachten; zij stelt den overgang daar van de eene tot de andere, en hierin is ook de reden gelegen, dat zij zelve zich onzijdig verhoudt.

Om redenen, welke wij later zullen leeren kennen, noemt men den eenen pool van den magneet den *Noordpool*, en den anderen *Zuidpool*.

4 **Onder den invloed van eenen magneet wordt het ijzer zelf magneet.**
Ten einde deze eigenschap van het ijzer te bewijzen, kan

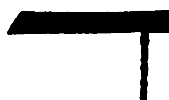
men de in Fig. 328 afgebeelde proef in het werk stellen. Een ijzeren cilinder *f* wordt door eenen magneet *a b* gedragen. Zoo men nu het onderste uiteinde van dezen cilinder met ijzervijlsel nadert, dan kleeft dit daaraan onder de gedaante van een bezempje, en blijft er zoo lang aan hangen, als de cilinder aan den magneet hangt; doch zoodra men dezen daar afrukt, valt ook het ijzervijlsel, en men neemt geene aantrekkende kracht meer waar. Dit verschijnsel kan worden toegeschreven aan de op eenen afstand werkende kracht van den magneet, want zoo de cilinder niet van ijzer ware, zou men het gemelde verschijnsel niet waarnemen. Nog meer zal men zich hiervan overtuigen, zoo men opmerkt: 1°. dat de draden van het ijzervijlsel van het uiteinde van den kleinen cilinder af steeds kleiner en kleiner worden; — 2°. dat er nabij het boveneinde van den cilinder een punt aanwezig is, aan hetwelk in het geheel geen ijzervijlsel meer hangt, en dat de kleine cilinder bijgevolg eene magnetische middellijn heeft; — 3°. dat het ijzervijlsel boven dit punt weder aan den cilinder kleeft, maar dat hier de draden eene tegenovergestelde rigting hebben. De kleine cilinder is dus een volkomene magneet; hij trekt ijzervijlsel aan, heeft twee polen en eene middellijn, doch deze middellijn valt niet zamen met de geometrische middellijn.

Fig. 328.



In de plaats van ijzervijlsel nabij den kleinen cilinder te brengen, kan men aan denzelven eenen dergelijken cilinder hangen, Fig. 329, die ook gedragen wordt; aan dezen kan men eenen derden hangen, die op zijne beurt weder eenen vierden kan dragen enz. Op deze wijze kan men eenen keten daarstellen, van welken de magneet het eerste lid uitmaakt. Neemt men dit lid weg, dan valt de geheele keten uit elkander, omdat de kracht, waardoor de leden worden zamengehouden, niet meer daar is.

Fig. 329.



Magnetische vloeistoffen. Ter verklaring van de onderscheidene 5
verschijnselen van het magnetisme, veronderstelt men, dat er twee verschillende vloeistoffen bestaan, die op eene bijzondere (onmiddelijk door ons nader te beschouwen) wijze in eenen magneet verdeeld zijn; de deeltjes van iedere vloeistof stooten elkander onderling af, maar trekken de deeltjes der andere aan. De magnetische vloeistoffen zijn in ieder molecule van ijzer en staal in gelijke hoeveelheid aanwezig, maar kunnen niet van eenen magneet op een stuk ijzer of zelfs niet van het eene molecule op het andere overgaan; de magnetische toestand is enkel afhankelijk van de wijze, hoedanig de magnetische vloeistoffen in ieder afzonderlijk molecule verdeeld zijn.

Eenèn magneet of magnetischen ijzeren staaf moeten wij ons,

zoo als in Fig. 330 is afgebeeld, voorstellen als zamengesteld uit kleine deeltjes, in ieder van welke de beide vloeistoffen, doch van elkander gescheiden, bevat zijn; en wel zijn de magnetische vochten in ieder deeltje op eene zoodanige wijze verdeeld, dat de gelijkaardige vloeistof in alle deeltjes naar dezelfde zijde gekeerd is. Aan het linker uiteinde van den in Fig. 330 voorgestelden magneet is derhalve enkel de eene, aan het regter einde de andere vloeistof aanwezig; hierdoor is dus de polariteit van den magneet verklaard. Naar deze wijze van voorstelling laat het zich zeer goed begrijpen, dat men eenen magneet in twee deelen kan verdeelen, en dat ieder gedeelte op zich zelf weder een volkomene magneet is.

Fig. 330.

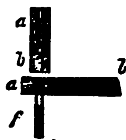


Indien derhalve een stuk ijzer door de inwerking van eenen magneet gemagnetiseerd wordt, dan gaat er geene magnetische vloeistof van den magneet op het ijzer over; maar door de nabijheid van den magneet wordt er enkel eene verdeeling bewerkt in de magnetische vloeistoffen des ijzers, welke tot op dat oogenblik in ieder molecule niet van elkander gescheiden en naar eene bepaalde zijde gerigt, maar geheel en al gelijkmatig verbreid waren.

Het ijzer behoudt slechts zoo lang zijne magnetische eigenschappen, als de magnetische vloeistoffen van hetzelve door de nabijheid van eenen magneet van elkander gescheiden worden; zoodra men den magneet verwijdert, vereenigen de gescheiden vloeistoffen zich weder, en het ijzer keert tot zijnen natuurlijken toestand terug.

Een horizontale magneet *a b*, Fig. 331, draagt aan zijn uiteinde eene massa ijzer, ten naastenbij van zooveel gewigt, als de magneet kan dragen. Boven *a b* brengt men nu eenen tweeden magneet *a' b'* van dezelfde kracht, maar zoo, dat de tegenovergestelde polen *a* en *b'* naar elkander gekeerd zijn. Zoo men nu dezen tweeden magneet langzamerhand nader brengt, dan valt het stuk ijzer *f*. De beide magneten te zamen kunnen derhalve niet dragen, wat ieder hunner op zich zelf kan dragen. De reden hiervan is gemakkelijk te begrijpen: de tweede magneet vernietigt de werking van den eersten, omdat hij de vloeistoffen des ijzers in eene tegenovergestelde rigting herleidt.

Fig. 331.



Het staal biedt aan de magnetische inwerking van eenen magneet veel sterker weêrstand dan ijzer, d. i: door een stuk staal met eenen magneet te naderen, vooral wanneer het staal eenigzins groot is, wordt dit niet even zoo sterk magnetisch als het ijzer; om eenen stalen staaf volkomen te magnetiseren, moet hij met den magneet langeren tijd in aanraking verkeeren, of daarmede herhaaldelijk op eene bijzondere wijze worden gestre-

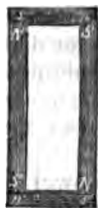
ken. Zoodra echter het staal eenmaal magnetisch is geworden, verliest het deze eigenschap ook zoo gemakkelijk niet weder, en al verwijdert men het ook van den magneet, dan behoudt het nogtans zijne magnetische eigenschappen, zoodat men derhalve wel van staal, doch niet van ijzer duurzame magneten kan vervaardigen.

Het moeijelijkst is volkomen gehard staal te magnetiseren; doch zoo het eenmaal magnetisch is, verliest het deze eigenschap ook niet gemakkelijk weder. Zoo het staal door het aanloopen zijne hardheid verliest, verhoudt het zich, ten opzigte van het magnetisme, ook steeds meer en meer als week ijzer.

Gloeijend ijzer wordt door den magneet niet meer aangetrokken, en een staalmagneet verliest door het gloeijen zijne magnetische eigenschappen volkomen.

Magnetische bewapening. Door verschillende omstandigheden kan 6
een magneet langzamerhand zijne kracht verliezen. Ten einde dit te voorkomen, bezigt men de zoogenaamde *ankers;* namelijk stukken van zacht ijzer, die men met den magneet in verband stelt, om de magnetische kracht werkzaam te houden door de in het zachte ijzer te weeg gebragte werking. Ter wapening van magneetstaven, gaat men het best te werk op de in Fig. 332 voorgestelde wijze. Men legge twee even groote magneetstaven evenwijdig naast elkander, maar zoodanig, dat altijd de noordpool van den eenen gekeerd is naar den kant van den zuidpool van den tweeden, en plaatst dan daartegen twee stukken zacht ijzer *a b* en *c d* zoodanig, dat daardoor het paralellogram gesloten wordt. Ieder dier stukken ijzer wordt nu natuurlijk zelf een magneet, die op de magneetstaven *N S* en *N' S'* zoodanig terugwerkt, dat daardoor de gescheidene vloeistoffen aan de einden dier staven bepaald worden.

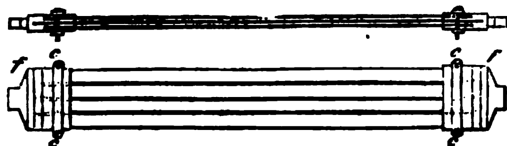
Fig. 332.



Magneetnaalden en magneetstaven door het aardmagnetisme gerigt, zijn in zekeren zin door de aarde gesloten.

Een *magnetisch magazijn* is eene vereeniging van onderscheidene afzonderlijke magneetstaven. In Fig. 333 wordt een zoodanig magazijn, volgens de methode van COULOMB zamengesteld,

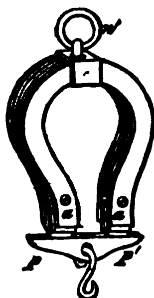
Fig. 333.



afgebeeld. De staaf van de middelste laag is ongeveer 2,5 à 3 duim langer dan die van de bovenste en onderste laag, zoodat

hij aan iedere zijde ongeveer 15 à 18 lijnen verder uitsteekt. Alle staven hebben overigens volkomen gelijke afmetingen, en zijn bevestigd in stukken ijzer *f*, die als ankers dienen. De geelkoperen banden dienen om de staven en ankers behoorlijk vast zamen te houden. Zoodanige groote bundels van magneten blijven vast liggen, wanneer men zich van dezelve tot magnetiseren bedient. De kleinere, die men voor het strijken bezigt, zijn naar hetzelfde beginsel vervaardigd.

Fig. 334.



In Fig. 334 wordt een hoefijzermagneet voorgesteld. Hij bestaat uit onderscheidene, hoefijzervormig gebogene, stalen platen, die onmiddelijk op elkander gelegd worden, en zamengehouden worden door twee schroeven *a* en *a*, van ijzer of geel koper. Voor en aleer men deze platen zamen voegt, wordt ieder derzelve gemagnetiseerd. Een ring *n n'* dient, om den magneet op te hangen, terwijl een stuk week ijzer *p p'*, het *anker*, tot bewapening dient. Goede hoefijzermagneten kunnen het 10 à 20 voudige van hun gewigt dragen.

De wijze, waarop natuurlijke magneten worden gewapend, is voorgesteld in Fig. 335 en 336.

Fig. 335.

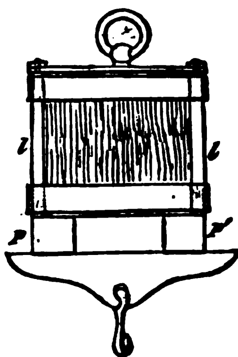
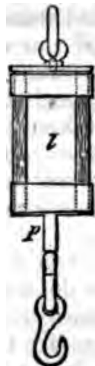


Fig. 336.

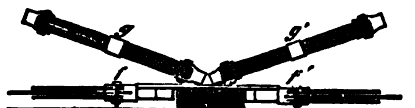


De deelen *l* en *l'* zijn de zijplaten, *p p'* de voetstukken van deze. De zijplaten worden ongeveer zoo breed genomen als de magneet zelf is, en ter dikte van eene lijn. De afmetingen der voetstukken zijn afhankelijk van de sterkte van den magneet.

Bij natuurlijke, zoowel als bij kunstmagneten neemt men een opmerkelijk verschijnsel waar, hetwelk men tot heden nog niet voldoende weet te verklaren, namelijk de *verzwakking*, die na eene *overlading* volgt. Stellen wij, dat een magneet 20 (Ned.) ponden kan dragen. Zoo men er nu dagelijks een klein gewigt bij hangt, dan kan men zijn draagvermogen vermeerderen, en het zoo ver brengen, dat hij 30, ja 40 ponden draagt. Zoodra echter het anker door een al te groot gewigt wordt afgerukt, dan vermindert de kracht van den magneet aanmerkelijk, en hij draagt ter naauwernood meer de 20 ponden, van welke men was uitgegaan. Zoo men er nu evenwel een kleiner gewigt aan hangt, en dit voorzigtig en langzamerhand weder vermeerdert, dan kan men het zoo ver brengen, dat hij na eenigen tijd zijne vroegere sterkte herkrijgt.

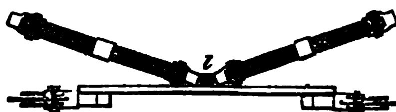
Magnetiseren van stalen naalden en staven. De methode van den 7
zoogenaamden enkelen streek bestaat daarin, dat men twee sterke magneetbundels, als in Fig. 333 is voorgesteld, zoodanig legt, dat de as van den eenen bundel in het verlengde van die des anderen ligt, en dat de tegenovergestelde polen naar elkander gekeerd zijn, zoo als men in Fig. 337 ziet, waar *f* de eene pool van den eenen bundel, *f'* de ongelijknamige pool van den anderen bundel voorstelt. De te magnetiseren naald wordt nu zoo gelegd, als men in Fig. 337 ziet, en in het midden nog door een houten blok ondersteund, op welk blok men de naald ook nog kan bevestigen, zoodat zij onmogelijk kan verplaatst worden. Nu neemt men de beide strijkmagneten *g* en *g'*, den eenen in de regter, en den anderen in de linker hand, plaatst ze, onder eenen hoek van 25 à 30°, op het midden van den te magnetiseren staaf, en strijkt dan langzaam en regelmatig van het midden naar de einden heen, zoodat de magneetstaven *g* en *g'* te gelijker tijd aan de tegenovergestelde einden van den magneet aankomen. Hier neemt me ze daarvan af, plaatst ze wederom in het midden, en herhaalt deze bewerking onderscheidene keeren. Het laat zich van zelfs begrijpen, dat de strijkmagneten de naald moeten aanraken met dien pool, naar welken men ze heenvoert. Deze methode is bijzonder geschikt tot het regelmatige en volkomene magnetiseren van magneetnaalden voor het kompas, of van stalen staven, die geene meerdere dikte bezitten dan van 4 à 5 streep.

Fig. 337.



De methode van den *dubbelen streek* komt te pas, wanneer de stalen staven meer dan 4 à 5 streep dik zijn; want voor deze is de boven beschrevene methode onvoldoende. De dubbele streek wordt bewerkstelligd op de navolgende wijze: Men legt den staaf die gemagnetiseerd moet worden op dezelfde wijze als bij de boven vermelde proef tusschen twee magneten, en plaatst ook de beide strijkmagneten op dezelfde wijze in het midden, behalve dat men hun eene nog grootere helling geeft, zoodat zij slechts eenen hoek van 15 à 20° met den horizont maken. Dan strijkt men ze niet naar de tegenovergestelde polen, maar men voert beide naar hetzelfuiteinde van den staaf, en vervolgens terug, langs den geheelen staaf. Nadat men ze nu op deze wijze *te zamen* lang genoeg over den staaf heen

Fig 338.



gevoerd heeft, voert men de magneten weder naar het midden van denzelven en neemt ze daar weg. Ten einde deze bewerking met meer gemak te kunnen uitvoeren, kan men de beide strijkmagneten op eene soort van houten of geelkoperen driehoek bevestigen. In allen gevalle moet er tusschen de beide strijkmagneten eene tusschenruimte bestaan van 5 à 6 streep, welke men het best kan aanvullen door een stukje hout, geel koper of lood, zoo als dit in Fig. 338 door *l* is aangeduid.

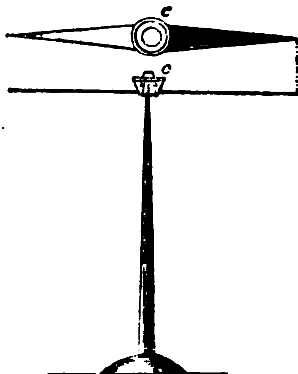
De dubbele streek verwekt een krachtig magnetisme; doch kan niet in aanwending gebragt worden tot het magnetiseren van naalden voor kompassen, noch voor staven, die tot naauwkeurige onderzoekingen moeten gebezigd worden, omdat deze methode bijna altijd polen van ongelijke sterkte geeft.

TWEEDE HOOFDSTUK.

Over de magnetische werking der aarde.

8 **Rigting der magneten, declinatie, inclinatie.** Een magneetstaaf aan eenen zijden draad horizontaal opgehangen, of eene in een horizontaal vlak op eene spil ligt beweegbare magneetnaald (eene zoodanige magneetnaald bezit gewoonlijk eene ruitvormige gedaante, zoo als in Fig. 339, en op het midden derzelve is een hoedje van agaatsteen aangebragt, hetwelk geplaatst wordt op de stalen punt, welke het draaipunt van de naald daarstelt) is niet bij elken stand in evenwigt; zij neemt eene bepaalde plaats in, omdat zij zich naar een bepaald punt van den horizont rigt. Zoo men de naald uit dezen stand brengt, dan komt zij toch altijd na eene reeks van slingeringen in denzelven terug. De kracht, door welke de naald altijd weder naar haren vorigen stand wordt terug gevoerd, is eene magnetische; want bij eene niet gemagnetiseerde naald, neemt men niets dergelijks waar. Men neemt deze merkwaardige eigenschap van de magneetnaalden overal waar, in alle werelddeelen, op alle zeeën. Op den top van de hoogste bergen en in de diepste valleijen, overal heeft de magneetnaald eene bepaalde rigting, in welke zij altijd terugkeert, wanneer zij daaruit is verplaatst. Er bestaat derhalve eene magnetische kracht, die op alle punten van de

Fig. 339.



oppervlakte der aarde werkzaam is, immers de magneetnaalden kunnen zich zelve niet rigten, evenmin als een ligchaam uit zich zelf in beweging kan komen; voor beide is er eene uitwendige kracht noodig.

Door eene eenvoudige proeve kunnen wij aantoonen, dat deze rigtende kracht volkomen op dezelfde wijze als eene magneet werkt, en niet op de wijze eener massa ijzer. Indien men de polen van eene magneetnaald geheel en al omkeert, dan zal zij eenen halven cirkel beschrijven, om weder in den evenwigtsstand terug te keeren en hare oorspronkelijke rigting te hernemen. Door de rigtende kracht worden derhalve de polen onderscheiden, en, even als eene magneet, trekt zij den eenen pool aan, en stoot den anderen af, terwijl het ijzer zoowel den eenen als den anderen pool van eene magneet met gelijke kracht aantrekt.

Zoo men al de verschillende waarnemingen, op onderscheidene plaatsen verkregen, bijeenvoegt, wordt men er inderdaad toe geleid om de aarde te beschouwen als een groot magneet, welks middellijn gelegen is, in den omtrek van de evennachtslijn. Hierin vinden wij het middel, om de beide polen van eene magneet eenen gepasten naam te geven.

De beide polen van de groote aardmagneet vallen in de nabijheid der polen van de as der aarde, en men noemt daarom den eenen pool de *magnetische Noordpool*, den anderen de *Zuidpool*. Nu trekken echter de ongelijkvormige polen elkander aan, en de magneetnaald zal derhalve haren *Zuidpool* naar het Noorden, haren *Noordpool* naar het Zuiden rigten.

Deze benaming der polen is evenwel nog niet algemeen aangenomen, want anderen noemen de poolen van de magneet naar eene juist omgekeerde wijze, en geven aan den naar het Noorden gerigten pool, den naam van *Noordpool*.

Indien men op eene en dezelfde plaats twee magneetnaalden ophangt, en wel op eenen zoodanigen afstand, dat zij geenen invloed op elkander kunnen uitoefenen, dan volgt ieder hunner eene rigting, evenwijdig met die van den anderen. Op zoodanige plaatsen der aarde evenwel, die onderscheidene lengte- of breedte graden van elkander verwijderd zijn, vindt deze evenwijdige rigting niet meer plaats.

Het is evenwel van het hoogste belang, om de rigting der magneetnaalden te kunnen bepalen, d. i. om ze met lijnen welke eene onveranderlijke plaats hebben te vergelijken, ten einde ook op dezelfde plaats de wijzigingen te kunnen opsporen, welke de rigting van de magneetnaald gedurende het verloop van eenigen tijd ondergaat, en welke verhoudingen er tusschen de rigting van de magneetnaald op onderscheidene plaatsen bestaat.

Door *magnetischen meridiaan* verstaat men dat platte vlak, hetwelk men zich door de rigting van eenen horizontalen magneet kan denken, of ook enkel de doorsnede van dit vlak met de oppervlakte der aarde.

De magnetische meridiaan op iedere plaats, maakt met den astronomischen meridiaan eenen hoek dien wij *declinatie* of afwijking noemen. De declinatie is Oost- of Westwaarts, naarmate de magneetnaald naar de eene of andere zijde van den astromischen meridiaan afwijkt. In Fig. 340 b. v. stelt *s n* den meridiaan voor van eene plaats, en *a b* de rigting van de horizontale magneetnaald dierzelfde plaats. De werkelijke declinatie bedroeg te *Göttingen* in het jaar 1837, 18° 37′ 30,55″, maar wij zullen aldra zien, dat de declinatie met den tijd verandert. Er zijn plaatsen op de aarde, waarheen de rigting van de magneetnaald volkomen met den meridiaan zamenvalt; en op deze plaatsen is dus natuurlijk de declinatie gelijk 0.

Den toestel tot het onderzoek van de declinatie, noemt men declinatiecompas.

In Fig. 341, wordt een zoodanig compas van eenen tamelijk

Fig. 340.

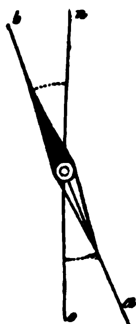
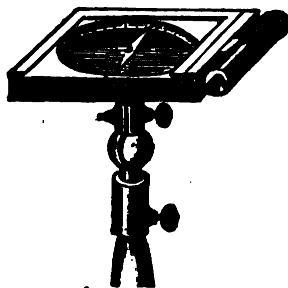


Fig. 341.



eenvoudigen aard voorgesteld. De punt, waarop de naald geplaatst is, is het middelpunt van eenen verdeelden horizontalen kring, die om eene vertikale as in zijn eigen vlak kan worden gedraaid. Ter zijde van den toestel is een wijzer aangebragt, wiens as evenwijdig loopt met de lijn, die men zich uit het nulpunt van den verdeelden kring om zijn middelpunt tot aan 180° kan denken. Naarmate men den horizontalen kring in zijn eigen vlak ronddraait, zal de punt van de magneetnaald te staan komen tegenover andere verdeelingen. Indien men den toestel zoodanig plaatst, dat de naald juist het nulpunt van de verdeeling aanwijst, dan is de as van den wijzer evenwijdig met de naald, en valt zij zamen met den magnetischen meridiaan, terwijl daarentegen bij elken anderen stand de naald op hetzelfde teeken wijst van den kring, uit hetwelk men ziet, hoeveel graden de hoek bedraagt, welken de rigting der naald met de as van den wijzer maakt. Zoo men derhalve den verrekijker juist in den astronomischen meridiaan brengt, kan men op den verdeelingskring den hoek aflezen, dien de magnetische meridiaan met den astronomischen maakt.

Dit werktuig nu kan in het algemeen tot het meten van hoeken gebezigd worden, omdat men door hetzelve altijd den hoek bepalen kan, dien de visierlijn des verrekijkers (of veeleer hare verhouding tot den horizont) met den magnetischen meridiaan maakt.

Het declinatie-compas, hetwelk de zeelieden gebruiken, wordt eenvoudig *kompas* genoemd.

Over het algemeen nadert de rigting der magneetnaald meer de rigting van het Noorden naar het Zuiden, dan die van het Oosten naar het Westen, om welke reden men gewoon is te zeggen, de magneetnaald wijst naar het Noorden.

De magneetnaalden, met wier beschouwing wij ons tot hier toe hebben bezig gehouden, zijn zoodanig opgehangen, dat zij zich slechts in een horizontaal vlak, bij gevolg om eene vertikale as kunnen bewegen. Zoowel bij de in Fig. 327 als in Fig. 341 voorgestelde wijze van ophangen, is de horizontale stand verzekerd, doordien het zwaartepunt der naald zich onder het punt van ophanging bevindt. Zoodra men echter eene magneetnaald in haar eigen zwaartepunt ophangt, blijft zij niet meer waterpas hangen, maar maakt met den horizont eenen hoek, dien men met den naam van *inclinatie* bestempelt.

Ter aanwijzing van de inclinatie der magneetnaald, is de toestel, afgebeeld in Fig. 342, zeer gepast. Aan een geel koperen raampje, hetwelk aan eenen zijden draad hangt, bevindt

Fig. 342.

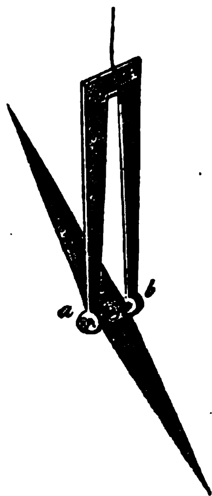
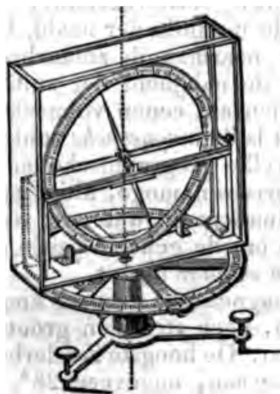


Fig. 343.



zich eene zeer gemakkelijk beweegbare horizontale as *a b*, die door het zwaartepunt eener magneetnaald gaat. Men ziet, dat eene op zoodanige wijze opgehangen magneetnaald zich om eene

vertikale en om eene horizontale as bewegen, en derhalve geheel vrij den rigtenden invloed der aarde volgen kan. De naald plaatst zich nu *zóó*, dat hare rigtingslijn in den magnetischen meridiaan komt, terwijl het noordwaarts gekeerde uiteinde der naald naar beneden daalt, waardoor de rigtingslijn der naald met den horizont eenen hoek maakt, die in onze gewesten ongeveer 70° bedraagt.

Zoodanige toestellen, waardoor de inclinatie gemeten wordt, noemt men *inclinatoriën* of *inclinatie-compassen*.

Hoe meer men het noorden nadert, des te grooter wordt, over het algemeen, de inclinatie; op sommige plaatsen neemt de inclinatienaald zelfs eenen bijna loodregten stand aan. Zoo nam b. v. kapitein PHILIPPS, in het jaar 1773, op 79° 41' Noorderbreedte eene inclinatie waar van 82° 9', en PARRY op 70°, 47' eene van 88° 43'. Kapitein ROSS eindelijk heeft de magnetische noordpool zelve bereikt. Op 70° 5' noorderbreedte en 263° 14' beoosten *Greenwich*, nam hij eene inclinatie van 90° waar. Op hooge breedten is de helling der magneetnaald zoo aanmerkelijk, dat het kompas voor de zeelieden onbruikbaar wordt, waarvan de jongste togten naar de noordpool de bewijzen hebben opgeleverd.

Hoe verder men zich daarentegen naar het zuiden begeeft, des te geringer wordt de inclinatie, en in de keerkringsgewesten bereikt men een punt, waar de inclinatie nul is, waar de inclinatienaald derhalve volmaakt waterpas staat. Gaat men nog verder zuidwaarts, dan neemt men weder eene inclinatie waar, doch eene tegenovergestelde; want thans daalt het naar het zuiden gekeerde uiteinde der naald. Deze inclinatie nu wordt insgelijks grooter, naarmate de zuiderbreedte toeneemt; derhalve bevindt zich in de nabijheid der zuidpool een tweede punt, waar de inclinatienaald eenen volmaakt loodregten stand aanneemt; en dit punt is de *magnetische* zuidpool der aarde.

Op welke geographische lengte men ook de keerkringsgewesten doorreizen moge, altijd zal men een punt aantreffen, waar de inclinatienaald waterpas staat. Deze *plaatsen zonder inclinatie* vormen om de geheele aarde eenen cirkel, dien men den *magnetischen evenaar* noemt.

De magnetische evenaar komt niet met den evenaar der aarde overeen, noch stelt den grootsten regelmatigen cirkel des aardbols daar. De hoogste Zuiderbreedte bereikt hij in den Atlantischen oceaan, ongeveer 28° ten westen van *Parijs*, op welk punt hij zich 14° ten zuiden van de evennachtslijn bevindt. Meer westwaarts nadert de magnetische evenaar dien der aarde, en bereikt denzelven 120° ten westen van *Parijs;* ter dier plaatse gaat hij echter niet op het noordelijk halfrond over, maar wendt zich op nieuw naar het zuiden, en bereikt 160° ten westen van *Parijs* andermaal de hoogste Zuiderbreedte van 30° 75'. Op den 174sten lengtegraad snijdt hij de evennachtslijn, en van dat punt af blijft hij op het noordelijke halfrond; doch 18° beoosten *Parijs*

snijdt hij nogmaals de evenachtslijn. De magnetische evenaar heeft 62° oostwaarts van *Parijs* eene Noorderbreedte van 11° 47'; 150° ten oosten van *Parijs* is zijne Noorderbreedte 7° 44'; 130° beoosten *Parijs* 8° 57'. Deze opgaven zijn voldoende, om in het algemeen de ligging van den magnetischen evenaar te bepalen, en zijnen onregelmatigen loop aan te toonen.

De aarde oefent op eene magneetnaald slechts eene rigtende, doch geene aantrekkende werking uit; want ware dit laatste het geval, dan zoude eene magneetnaald meer slingeren dan te voren, toen zij nog niet magnetisch gemaakt was. Wanneer men eene magneetnaald op een stuk kurk legt, hetwelk op het water drijft, plaatst zij zich in den magnetischen meridiaan, toont echter geene neiging om naar het noorden te drijven, zoo als men welligt zoude verwachten.

Indien men der drijvende naald eenen magneet voorhoudt, zal er eene aantrekking of eene afstooting plaats hebben, naar mate men de eene of de andere pool van denzelven naar de naald gekeerd houdt; de naald drijft of naar den magneet of verwijdert zich van denzelven. Waarom, vraagt men, drijft de naald nu niet naar de magnetische Noordpool, indien de aarde toch niet anders dan als een groote magneet te beschouwen is? De reden is deze: Het vermogen der magnetische aantrekking vermindert met den afstand, zoo als wij weldra zullen zien. Wanneer men nu eenen magneet in de nabijheid eener drijvende naald brengt, zijn hare beide polen niet even ver van de nader bij gebragte pool van den magneet verwijderd, bij gevolg moet of het afstootende of het aantrekkende vermogen de overhand hebben, en dus ook eene voor- en achterwaartsche beweging volgen. Doch de magnetische Noordpool der aarde is zoo buitengemeen ver van de drijvende naald verwijderd, dat de lengte der naald, in vergelijking van dien afstand, eene geheel verdwijnende grootheid is; de eene pool der naald wordt derhalve even sterk aangetrokken als de andere afgestooten wordt.

Veranderingen der declinatie en inclinatie. De declinatie is even- 8
min onveranderlijk als de inclinatie. In het jaar 1580 bedroeg te *Parijs* de declinatie 11° 30' oostwaarts; zij verminderde nu, en was in het jaar 1663 gelijk nul; van dien tijd af werd de declinatie westelijk en nam gestadig toe tot aan het jaar 1848, als wanneer zij haar grootste westelijke punt van 22° 34' bereikte, om vervolgens weder te verminderen.

De inclinatie der magneetnaald is te *Parijs* sinds het jaar 1671, toen zij ongeveer 75° bedroeg, steeds verminderd, zoodat zij tegenwoordig aldaar omstreeks $67\frac{1}{2}$° bedraagt.

Deze zeer langzaam voortgaande veranderingen der declinatie en inclinatie noemt men *seculaire veranderingen.* Zij zijn evenwel niet de eenigste, aan welke de rigting der declinatienaald onderhevig is.

Wanneer men de inclinatienaald oplettend gadeslaat, bespeurt men, dat zij aanhoudend kleine slingeringen maakt, door

zich nu eens oost- dan weder westwaarts van haren evenwigtsstand te verwijderen. Deze veranderingen geschieden of meer regelmatig en op gezette tijden, of zijn meer toevallig en hebben plotseling plaats. De eerste zijn dagelijksche veranderingen, de laatste noemt men stoornissen.

In 't algemeen beweegt het Noordelijk uiteinde der naald zich van zonsopgang af naar het westen, en begint vervolgens van 5 uur 's avonds af terug te gaan.

De *uitgestrektheid* der dagelijksche veranderingen, d. i. de hoek tusschen den meest oostelijken en den meest westelijken stand is veranderlijk; somtijds bedraagt dezelve slechts 5 tot 6 seconden, somwijlen echter ook $\frac{1}{4}$ minuut.

De inclinatie is insgelijks aan zoodanige veranderingen onderhevig.

Zeer sterke onregelmatige slingeringen, die dikwerf meer dan eenen graad bedragen, ondergaat de declinatienaald, wanneer een Noorderlicht zich aan den hemel vertoont.

Aardbevingen en vulkanische uitbarstingen schijnen ook invloed uit te oefenen op de magneetnaald, en somtijds veroorzaken zij eene duurzame verandering in hare stelling.

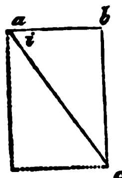
9 **Intensiteit der aardmagneetkracht.** Wanneer men eene inclinatienaald uit den magnetischen meridiaan verwijdert, dan poogt de magneetkracht der aarde haar weder in haren evenwigtingsstand terug te brengen; laat men echter de naald geheel aan zich zelve over, dan geraakt zij eerst na eene reeks van slingeringen in rust. De tijd, welke tot elke dier slingeringen vereischt wordt, hangt af van de massa der naald, van de kracht van het in dezelve ontwikkelde magnetisme, en van de sterkte der aardmagneetkracht. Eene en dezelfde naald zal derhalve sterker slingeren, wanneer de aardmagneetkracht sterker op haar inwerkt.

Hierdoor heeft men dus een middel, om de sterkte van de magneetkracht der aarde op verschillende plaatsen van den aardbol onderling te vergelijken. Men behoeft slechts waar te nemen, hoeveel slingeringen in eenen bepaalden tijd, b. v. in vijf minuten, eene en dezelfde inclinatienaald op verschillende plaatsen maakt. Volgens die waarneming kan men dan gemakkelijk berekenen, in welke verhouding de sterkte van de magneetkracht der aarde op de eene plaats, tot die derzelve op eene andere plaats staat; want de intensiteiten der aardmagneetkracht staan tot elkander in reden, als de vierkanten der in gelijke tijden gemaakte slingeringen.

Nimmer echter kan de waarneming van de slingeringen eener inclinatienaald zeer naauwkeurige resultaten opleveren, en derhalve verdienen de proeven der slingeringen met horizontale naalden of staven de voorkeur. De kracht, welke de declinatienaald doet slingeren, is slechts een gedeelte, en wel de horizontale zijdelingsche der geheele, in de rigting der inclinatienaald werkende magneetkracht der aarde. Wanneer echter de

horizontale intensiteit en de hoegrootheid der inclinatie bekend zijn, kan men gemakkelijk de geheele intensiteit berekenen.

Fig. 344.



Wanneer de horizontale intensiteit der aardmagneetkracht en de inclinatie bekend zijn, kan men ook door constructie de geheele intensiteit vinden. In Fig. 344 zij *a b* de horizontale intensiteit; maakt men nu hoek *i* gelijk aan de op die zelfde plaats waargenomen inclinatie, en trekt men voorts op *b* eene perpendiculaire lijn, dan toont *a c* de geheele intensiteit aan.

Is $i = c$, dan valt de rigting der aardmagneetkracht in een horizontaal vlak. Zulks heeft, zoo als bekend is, op den magnetischen evenaar plaats; dáár is de horizontale intensiteit gelijk aan de geheele intensiteit. Over het algemeen wordt de magneetkracht der aarde grooter, hoe nader men bij den magnetischen evenaar komt. Aan de magnetische polen der aarde, waar de inclinatienaald eenen loodregten stand heeft, is het horizontale aandeel der aardmagneetkracht gelijk nul.

Wanneer men de resultaten der bepalingen omtrent de intensiteit, die op verschillende plaatsen van den aardbol verkregen zijn, onderling vergelijkt, dan verkrijgt men tot algemeen resultaat, dat de totale intensiteit in de nabijheid van den magnetischen evenaar het kleinste is, en dat zij des te grooter wordt, hoe meer men zich van denzelven noord- of zuidwaarts verwijdert. In de nabijheid der magnetische polen is zij ongeveer 1,5 maal grooter dan aan den evenaar. Op eene en dezelfde plaats echter, is de intensiteit ook veranderlijk, en, even als de declinatie en inclinatie, aan dagelijksche veranderingen onderhevig.

Invloed der aardmagneetkracht op het ijzer. Indien men eene staaf 10
van zacht ijzer, ter lengte van 6 tot 10 palm, in de rigting der inclinatienaald houdt, wordt zij door den invloed der aardmagneetkracht zelve magnetisch, en wel zal haar onderste einde eene Zuid-, haar bovenste eene Noordpool worden, hetgeen gemakkelijk blijkt, wanneer men eene kleine gevoelige magneetnaald nu eens bij het bovenste, dan weder bij het onderste uiteinde der staaf brengt. Dezelfde pool der naald wordt door het eene einde der staaf aangetrokken, door het andere afgestooten; op die wijze leert men terstond den polarisch-magnetischen toestand der naald kennen. Zoo men de staaf omkeert, zijn hare polen ook dadelijk omgekeerd; het onderste einde is weder eene Zuid-, het bovenste wederom eene Noordpool.

Dezelfde uitwerking, hoewel in eenigzins zwakkeren graad, brengt de magneetkracht der aarde insgelijks bij eene loodregt hangende ijzeren staaf te weeg; in 't algemeen bij elke ijzeren stang, welken hoek zij ook met de rigting der inclinatienaald maakt; alleenlijk is de uitwerking zoo veel geringer, hoe meer zij zich van de rigting der inclinatienaald verwijdert. Denzelfden

invloed oefent de aardmagneetkracht ook in meerderen of minderen graad op elke ijzer-massa uit; derhalve moet al het zachte ijzer onder den invloed der aardmagneetkracht een polarisch magnetisme aannemen, hetwelk naar omstandigheden meer of minder duidelijk kan aangetoond worden.

Wanneer eene ijzeren staaf door den verdeelenden invloed der aardmagneetkracht zelve een magneet geworden is, zijn eenige hamerslagen voldoende, om het magnetisme vast en de staaf tot eenen duurzamen magneet te maken. Door het slaan wordt derhalve aan het ijzer een zoodanig vermogen medegedeeld, door hetwelk belet wordt, dat de door den invloed der aarde in het ijzer gescheidene magnetische vloeistoffen zich weder vereenigen. Daardoor is hêt ook verklaarbaar, dat in eene smidswerkplaats bijkans alle werktuigen magneten zijn.

Chemische veranderingen schijnen ook op dezelfde wijze als mechanische dreuningen te werken, om het door de aarde verdeelde magnetisme van het ijzer vast te maken; want men weet bij ondervinding, dat ijzeren staven, die langen tijd loodregt stonden en in dien stand roesteden, een duurzaam magnetisme verkregen hebben. Zekere JULIUS CAESAR, heelmeester te *Rimini*, nam het eerst, in het jaar 1590, aan eene staaf op den toren der kerk van den H. Augustinus waar, dat dezelve door den invloed der aarde magnetisch geworden was. Later, omstreeks het jaar 1630, deed GASSENDI dezelfde waarneming aan het kruis van den toren der St. Johanniskerk te *Aix*, hetwelk door den bliksem naar beneden geslagen was. Het was sterk verroest, en bezat alle eigenschappen van eenen magneet. Sinds dien tijd hebben dusdanige waarnemingen zeer dikwerf plaats gehad, en men heeft over het algemeen bevonden, dat eenigzins geroest ijzer een meer of minder sterke magneet is.

Indien men eenen hoefijzer-magneet in ijzervijlsel dompelt, blijft er tusschen de polen een bundel van hetzelve hangen. Bevochtigt men dit met olie en verhit het vervolgens tot gloeijens toe, terwijl het nog steeds aan den verdeelenden invloed van den magneet blootgesteld is, dan heeft er eene gedeeltelijke oxydatie van het ijzer plaats; men verkrijgt eene tamelijk compacte massa, wier zamenstelling aan die van den natuurlijken magneet gelijk, en insgelijks duurzaam magnetisch is.

11 **Vermindering der magneetkracht op eenen afstand.** Na den magnetischen invloed der aarde te hebben leeren kennen, kunnen wij thans ook onderzoeken, volgens welke wetten de sterkte der magnetische aantrekking en afstooting bij toenemenden afstand vermindert. Reeds a priori kan men veronderstellen, dat de magnetische invloeden even als alle andere, die van zeker punt uitgaan, in omgekeerde reden zijn van het vierkant der afstanden, d. i. dat bij 2, 3, 4 maal grooteren afstand de invloed 4, 9, 16 maal kleiner is.

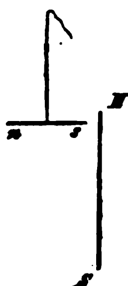
Wil men deze wet door proeven staven, dan stoot men op

de eigenaardige zwarigheid, dat men nimmer met ééne magnetische pool alleen proeven nemen kan, doordien de eene altijd eenigermate invloed op de werking der andere uitoefent. Het eenigste middel hier tegen is, te zorgen, dat haar storende invloed op de werking der andere vernietigd wordt.

Aan den draad van eenen zijworm wordt eene kleine magneetnaald zoodanig opgehangen, dat zij in een horizontaal vlak vrij slingeren kan, doch tegen storende luchtstroomingen genoegzaam beschermd is. Eerst laat men deze naald alleen onder den invloed van hetmagnetisme der aarde slingeren. Men stelle n als het waargenomen getal slingeringen in eene minuut, m als het horizontaal aandeel der aardmagneetkracht, die op haar werkt.

Nu laat men eene der polen eener zoo sterk mogelijk gemagnetiseerde staaf op de naald werken. Deze stalen staaf wordt in den magnetischen meridiaan der naald $n\ s$ gebragt, en wel in loodregten stand, zoo dat naar de pool s der naald die pool N der staaf gekeerd is, waarop zij eene aantrekkende werking uitoefent.

Fig. 345.



De staaf moet zoo groot zijn, dat de afstand $s\ N$ zoo gering mogelijk zij in vergelijking van den afstand $s\ S$, ten einde de werking der pool S op s zonder merkbaar nadeel te kunnen verwaarloozen.

Indien wij, wanneer de pool N der staaf NS van eenen bepaalden afstand uit op de naald werkt, het getal slingeringen derzelve aanduiden door n' en de kracht die thans de slingeringen sneller doet zijn door f', dan heeft men, in vergelijking met de vorige proef,

$$\frac{f'}{f} = \frac{n'^2}{n^2}.$$

Indien de naald onder den invloed van het magnetisme der aarde alleen 15 slingeringen in eene minuut had gemaakt, daarentegen 41, wanneer de pool N der staaf 4 dm. van de naald verwijderd is, dan zouden wij hebben

$$\frac{f'}{f} = \frac{41^2}{15^2}.$$

Vervolgens plaatst men de staaf op eenen dubbelen afstand, zoo dat N 8 dm. van de naald verwijderd is, en let dan op het getal slingeringen. Gesteld, men vinde hetzelve in eene minuut $n'' = 24$, dan is, de in dit geval op de naald werkende kracht f'' noemende,

$$\frac{f''}{f} = \frac{24^2}{15^2}.$$

De grootheid f' is klaarblijkelijk de som der aardmagneetkracht en der aantrekkingskracht, welke de pool N op eenen afstand van 4 dm. op de naald uitoefent; deze laatste is dus natuurlijk $f' - f$. Desgelijks is de aantrekkingskracht, welke

de staaf op 8 dm. afstands op de naald uitoefent $f'' - f$. Uit de zamenstelling der beide laatste vergelijkingen volgt zeer gemakkelijk $\frac{f' - f}{f'' - f} = \frac{41^2 - 15^2}{24^2 - 15^2} = \frac{1456}{351} = 4,1.$

Deze proef bewijst dus, dat de werking der aantrekkende kracht eener magnetische pool op dubbelen afstand wezenlijk ten naastenbij viermaal zwakker is.

Weber heeft deze stelling langs eenen indirecten weg bewezen, door niet de werking eener enkele pool, maar die van den geheelen magneet op grooteren afstand te onderzoeken. Hij heeft aangetoond, dat indien eene magneetstaaf klein is in vergelijking van den afstand, de totale werking van eenen magneet in omgekeerde reden der *derde magt* van den afstand verminderen moet, indien de werking eener enkele pool inderdaad in omgekeerde reden is van het vierkant der afstanden.

In Fig. 346 zij *a b* eene magneetstaaf ter lengte van 1 palm, wier midden 10 pm. van het punt *c* verwijderd is, dan is de afstand der pool *b* van *c* 9,5, die der andere pool 10,5 pm. Indien nu *c* eene magnetische pool is, en men de kracht, waarmede de polen *b* en *c* elkander aantrekken, indien zij 1 pm. van elkander verwijderd waren, door 1 aanduidt, dan is de aantrekkende werking thans $\frac{1}{9,5^2} = \frac{1}{90,25}$, indien de aantrekkende werking der pool in omgekeerde reden is van het vierkant der afstanden. Uit die zelfde veronderstelling volgt voor de afstootende werking tusschen de polen *b* en *c* de waarde $\frac{1}{10,5}$ $= \frac{1}{110,25}$. De totale werking, die de magneet *a b* op *c* uitoefent is derhalve $\frac{1}{90,25} - \frac{1}{110,25} = \frac{20}{9950}$.

Fig. 346.



Plaatst men den magneet op dubbelen afstand van *c*, d. i. legt men denzelven zoo, dat deszelfs midden 20 pm. van *c* verwijderd is, en derhalve de afstand *b c* 19,5, de afstand *a c* 20,5 pm. bedraagt, dan moet de totale werking van den magneet zijn

$$\frac{1}{19,5^2} - \frac{1}{20,0^2} = \frac{1}{380,25} - \frac{1}{420,25} = \frac{40}{159800}.$$

Indien men dus de magneetstaaf uit den afstand van 10 pm. op dien van 20 pm. brengt, moet zijne werking in reden van $\frac{20}{9950}$ tot $\frac{40}{159800}$ verminderen, veronderstellende dat de werking van elke afzonderlijke pool in omgekeerde reden is van het vierkant der afstanden. Nu echter is

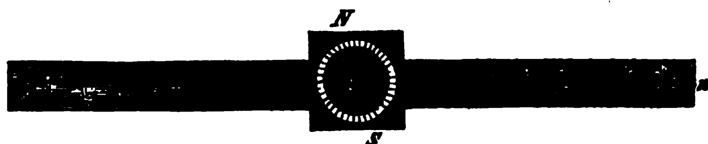
$\frac{20}{9950} : \frac{40}{159800} = \frac{1}{995} : \frac{2}{15980} = \frac{15980}{1990} = 8$, bij gevolg is op dubbelen afstand de totael werking van den magneet 8 maal geringer, doch 8 is de derde magt van 2.

Hetgeen hier door een bijzonder voorbeeld bewezen is, kan ook algemeen bewezen worden; in 't algemeen kan men betoogen, dat de totale werking van eenen magneet in omgekeerde reden der derde magt van de afstanden zijn moet, indien de werking der afzonderlijke polen in omgekeerde reden is van het vierkant dier afstanden.

Dat echter de totale werking eener magneetstaaf wezenlijk in omgekeerde reden is van de derde magt der afstanden, verondersteld dat de magneet in vergelijking van dien afstand tamelijk klein is, kan door de volgende proef bewezen worden.

Eene staaf, die 1 el lang en in halve palmen verdeeld is, plaatse men zoo, dat hare rigting regthoekig op die van den magnetischen meridiaan staat. Op haar midden plaatse men dan een klein compas, zoo als in Fig. 347 te zien is. De naald van dit

Fig. 347.



kompas zal op 0 staan, indien behalve de magneetkracht der aarde, geene andere magnetische krachten op haar werken. Indien men echter aan eenen kant op de staaf eenen magneet legt, dan wijkt de naald af, en wel is de kracht welke die afwijking veroorzaakt, geëvenredigd aan de tangenten van den hoek van afwijking.

Men legge nu eene magneetstaaf ter lengte van 1 pm. in dier voege, als in Fig, 347 is voorgesteld, zoodanig dus, dat haar midden 45 dm. van het midden van het kompas verwijderd is. Bij dusdanige proef had eene afwijking plaats van $11\frac{1}{2}°$.

De afstanden staan in dit geval tot elkander als 30 tot 45 of als 2 tot 3; bij gevolg moeten de tangenten der hoeken van afwijking tot elkander staan als 2^3 tot 3^3 of als 8 tot 27; doch $\frac{27}{8}$ is $= 3{,}375$.

Nu is *tang.* $11^1/_2° = 0{,}2034$, *tang.* $35^1/_2° = 0{,}7115$ en $\frac{0{,}7115}{0{,}2034}$ is $= 3{,}49$; — de tangenten der hoeken van afwijking staan dus wezenlijk ten naastenbij tot elkander als 8 tot 27, of als de derde magten der afstanden.

Diamagnetismus. Tot aan het jaar 1846 meende men, dat be- 12
halve het ijzer, alleen nog het kobalt, nikkel en bruinsteen de eigenschap bezaten, van door den magneet te worden aange-

trokken. Uit proeven van FARADAY, met vermogende electro-magnetische toestellen, is evenwel gebleken, dat de magneetkracht zich bij alle ligchamen openbaart, ofschoon niet bij allen op dezelfde wijze. Sommige derzelve namelijk worden door de polen van den magneet aangetrokken, en plaatsen zich, aan de inwerking van eenen sterken magnetischen hoef blootgesteld, met hunne lengte-as in de rigting der polen. Deze rigting wordt de *axiale* rigting genoemd, en zoodanige ligchamen *magnetisch*. — Andere ligchamen daarentegen, welke niet door den staaf-magneet worden aangetrokken, nemen, onder de inwerking van den magnetischen hoef, eene zoodanige rigting aan, dat hunne lengte-as de axiale rigting overkruist. Deze ligchamen noemt FARADAY *diamagnetisch*, en de rigting dier ligchamen de aequatoriale. — De naam van diamagnetismus is eigenlijk onjuist; want zij beteekent eene kracht, welke *door* vaste en ondoordringbare ligchamen werkzaam is — iets, hetwelk evenzeer van toepassing is op het magnetisme —, doch ofschoon onjuist, is deze naam in allen gevalle voldoende, ter aanduiding van de eigenschap der ligchamen, om zich in eene aequatoriale rigting te plaatsen. Niet alle ligchamen zijn even sterk magnetisch of diamagnetisch. Onder alle ligchamen is ijzer het sterkst magnetisch; waarbij het evenwel opmerkelijk is, dat, terwijl de oplossingen van ijzerzouten magnetisch zijn, die zouten daarentegen, in welke het ijzer als bestanddeel van het zuur optreedt, zich diamagnetisch verhouden, zoo als b. v. de kristallen van het gele en roode ferro-cyanidum potassii. — Tot de sterkst diamagnetische ligchamen behooren het koper en bismuth. — Naar de sterkte der magnetische kracht van eenige ligchamen, heeft FARADAY de navolgende rooster zamengesteld:

IJzer,
Nikkel,
Kobalt,
Manganium,
Crownglas,
Platina,
} plaatsen zich axiaal — zijn magnetisch.

Lucht en luchtledig stellen het 0 punt der reeks daar:

Aether,
Alcohol,
Goud,
Water,
Kwikzilver,
Flintglas,
Tin,
Zwaar glas,
Antimonium,
Phosphorus,
Bismuth,
} plaatsen zich aequatoriaal — zijn diamagnetisch.

Behalve op de lucht, waren de proeven van FARADAY door

hem nog slechts toegepast op vaste en druipvormig vloeibare ligchamen. — Uit latere proefnemingen evenwel is gebleken, dat ook de gasvormige ligchamen diamagnetisch zijn, en dat deze eigenschap toeneemt, naarmate de temperatuur hooger is. — Zelfs is men, door zeer vernuftige proeven, er in geslaagd, om de mate van sterkte der diamagnetische eigenschappen van gasvormige ligchamen te bepalen. Hierbij is gebleken, dat het oxygenium betrekkelijk de meeste neiging bezit om zich axiaal te plaatsen, of door de polen te worden aangetrokken, en derhalve het minst diamagnetische der gasvormige ligchamen is. Het nitrogenium daarentegen, is het sterkst diamagnetische der gasvormige ligchamen. — Opmerkelijk is voorts nog, dat de diamagnetische eigenschappen van alle gasvormige ligchamen, welke oxygenium bevatten, zwakker worden, naarmate de hoeveelheid oxygenium in dezelve grooter is. Daardoor wordt dus ook de diamagnetische sterkte van het nitrogenium des dampkrings bepaald.

Naardien nu deze beide hoofdbestanddeelen des dampkrings zoo duidelijk aan elkander tegenovergestelde magnetische eigenschappen bezitten, zal welligt uit nadere onderzoekingen zijn op te maken, of niet de steeds gelijkmatige zamenstelling van de dampkringslucht in zeker opzigt afhankelijk is van deze antagonistische toestanden van het magnetisme. De diffusie der gassoorten, tot heden als daadzaak erkend, doch waarvan de oorzaken nog onbekend zijn, is welligt afhankelijk van deze bijzondere magnetische verhouding dier ligchamen.

TWEEDE AFDEELING.

ELECTRICITEIT.

EERSTE HOOFDSTUK.

Over de electrische werkingen.

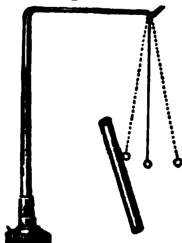
13 **Er zijn ligchamen, die door wrijven de eigenschap verkrijgen om ligte ligchamen aan te trekken.** Men kan zich gemakkelijk overtuigen, dat de ligchamen in hunnen gewonen toestand volstrekt niet de eigenschap bezitten om ligte ligchamen, zoo als stukjes bladgoud, houtzaagsel, snippertjes papier, vlierpitjes, enz. aan te trekken. Indien men echter met wollen of zijden stoffe eene glazen staaf, eene pijp zwavel of zegellak, een stuk barnsteen, enz. wrijft, verkrijgen die ligchamen terstond deze merkwaardige eigenschap. Het aantrekkend vermogen is zoo groot, dat reeds op eenen afstand van meer dan eenen voet ligchamen naar het aantrekkende ligchaam getrokken worden (Fig. 348).

Fig. 348.



Ten einde te onderzoeken, of een ligchaam door wrijven electrisch wordt of niet, kan men den *electrischen slinger* bezigen (Fig. 349). Deze bestaat uit een vlierpitballetje, hetwelk aan eenen draad van ingesponnen zijde opgehangen is. Indien men een ligchaam onderzoeken wil, brengt men hetzelve bij het balletje; wordt dit aangetrokken, dan is het ligchaam electrisch; wordt het echter niet aangetrokken, dan is het ligchaam óf niet electrisch, óf deszelfs electriciteit is te zwak, om in dit geval eenige werking te weeg te brengen.

Fig 349.



Door den electrischen slinger kan men aantoonen, dat alle harsen, barnsteen, zwavel, glas door wrijven sterk electrisch worden. Edelgesteenten, hout en kool geven slechts zelden geringe bewijzen van aantrekking. Metalen eindelijk, schijnen op het eerste gezigt door wrijven in 't geheel niet electrisch gemaakt te kunnen worden; want hoe sterk men ook eene metaalstaaf, die men in de hand houdt, wrijft, ontdekt men echter aan haar niet het minste spoor van aantrekking. Om deze reden verdeelde men alle ligchamen in twee groote klassen, tew.: in zoodanige die door

wrijven electrisch worden, en in die welke deze eigenschap niet bezitten. De eerste noemde men *idio-electrische*, de laatste *anelectrische* ligchamen.

Deze verdeeling evenwel steunt op een dwaalbegrip; want men heeft ontdekt, dat alle ligchamen, zelfs metalen, door wrijven electrisch gemaakt kunnen worden, en indien men bij vele door wrijven geen spoor van electriciteit kan verkrijgen, dan is de reden daarvan te zoeken in andere omstandigheden, die wij weldra zullen leeren kennen.

Geleiders en niet-geleiders. Vroeger was men van meening, dat 14
de ligchamen, aan welke men den naam van anelectrische gegeven had, op geenerhande wijze in den electrischen toestand gebragt konden worden. Een Engelsch natuurkundige, met name GREIJ, deed in het jaar 1727 proeven met eene glazen buis, die aan beide uiteinden open was. Hij wilde onderzoeken, of zij ook electrisch werd, indien zij aan beide einden met kurken stoppen gesloten was. In dien tijd namelijk had de wetenschap nog zoo weinige vorderingen gemaakt, dat men op goed geluk af proeven deed, omdat men nog geene theorie bezat, naar welke men de loop der proeven konde geregeld worden. Tot zijne grootste verwondering bespeurde GREIJ, dat de stoppen zelve electrisch geworden waren, niettegenstaande het kurk tot de anelectrische ligchamen behoort. Een in het kurk gestoken metalen draad werd insgelijks electrisch, welke lengte dezelve ook hebben mogt. Hij begaf zich zelfs met zijne electrische buis naar de eerste, tweede, derde verdieping zijner woning, en liet den metalen draad tot beneden op den grond hangen. Hij wreef de buis, en een zijner vrienden bragt ligte ligchaampjes in de nabijheid van het onderste einde van den draad, en ziet, zij werden aangetrokken. Hieruit bleek, dat metalen de eigenschap bezitten, om den electrischen toestand aan te nemen en voort te planten. Diezelfde eigenschap evenwel bezitten alle anelectrische ligchamen; om die reden noemde men dezelve *geleiders* der electriciteit. De idio-electrische ligchamen daarentegen zijn geene geleiders; want indien men b. v. door wrijven eene glazen staaf aan het eene einde electrisch maakt, vertoont het andere geen spoor van aantrekking.

Men kan deze grondwaarheid zeer goed bewijzen door eene electriseermachine, die wij, zonder nog haar zamenstel te kennen, niet te min voor 's hands reeds bezigen kunnen als middel ter ontwikkeling van electriciteit. De conductor der machine is een metalen ligchaam, hetwelk electrisch gemaakt wordt. Wanneer men met den conductor eenen langen, aan zijden koorden hangenden metaaldraad, of, hetgeen gemakkelijker is, een cijlindrisch metalen ligchaam, hetwelk op eenen glazen voet geplaatst is, in verbinding brengt, dan wordt het metaal over deszelfs geheele uitgestrektheid electrisch; doch zoodra men het door dezen of genen goeden geleider met den grond

gemeenschap doet hebben, alsdan verdwijnt oogenblikkelijk alle electriciteit.

Hieruit blijkt tevens, dat de zijden draden, de glazen staaf, niet-geleiders der electriciteit, dat zij *isolators* zijn. Een geleider der eleltriciteit kan derhalve slechts zoo lang electrisch blijven, als hij *geisoleerd*, d. i. alleen van niet-geleiders omringd is. De lucht is insgelijks een isolator, want anders zoude door haar de electriciteit oogenblikkelijk van het metaal weggevoerd worden.

Water en waterdamp zijn goede geleiders. Om die reden gaat de electriciteit, die bij eene drooge lucht langen tijd op eenen geisoleerden geleider blijft kleven, zeer spoedig verloren wanneer de lucht vochtig is.

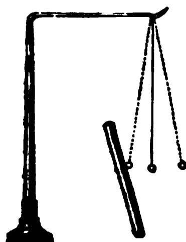
Ook het menschelijk ligchaam is een goede geleider. Indien men op den grond staande de hand aan den conductor der machine houdt, zal alle electriciteit, welke door het draaijen derzelve opgewekt wordt, dadelijk weggevoerd worden; indien men echter op eenen slechten geleider, b. v. op eenen harskoek, staat, wordt het geheele ligchaam electrisch. Hierdoor zal men begrijpen, waarom eene metalen staaf, die men in de hand houdt, door wrijven niet electrisch wordt; alle electriciteit namelijk, die men door het wrijven verkrijgt, wordt dadelijk door het menschelijke ligchaam weder weggevoerd.

De beste isolators veranderen in geleiders, wanneer waterdamp zich op dezelve neder zet. Derhalve is het voor het welslagen van electrische proeven van het grootste belang, de glazen voetstukken, harsstaven, enz., waardoor een geleider moet geïsoleerd worden, door verwarmen en wrijven droog te maken.

In plaats van de ligchamen in geleiders en niet-geleiders te verdeelen, behoorde men, om zich juister uit te drukken, dezelve goede of slechte geleiders te noemen; want volstrekte niet-geleiders bestaan er niet. Schellak, harsen in het algemeen, zijde en glas zijn de slechtste geleiders; de beste daarentegen zijn de metalen.

15 **Over de beide soorten van electriciteit.** Nemen wij eenen eenvoudigen electrischen slinger (Fig. 350), welks balletjes aan eenen zijden draad hangen. Wanneer men eene gewrevene glazen stang of lakpijp tot denzelven brengt, dan wordt het vlierpit-balballetje sterk aangetrokken; het raakt de stang of pijp aan, doch blijft slechts eenige oogenblikken er aan kleven, en wordt weldra *afgestooten*. Deze afstooting is aan de electriciteit toe te schrijven, welke door aanraking met de stang of pijp aan het balletje is medegedeeld; want wanneer men het met de hand aanraakt, en het daardoor weder in zijnen natuurlijken toestand terug brengt, dan wordt het op nieuw aangetrokken, en, na de stang of pijp aangeraakt te hebben, ander-

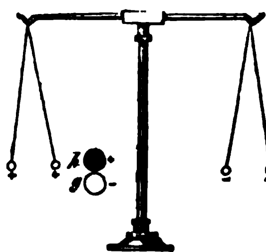
Fig. 350.



maal afgestooten. Dat het afgestooten balletje wezentlijk electrisch is, blijkt ook daaruit, dat het zelfs door ligchamen, die zich in hunnen natuurlijken toestand bevinden (tot deze proef moet men echter geleiders kiezen) aangetrokken wordt.

Indien men twee geisoleerde slingers, van welke de eene door aanraking van eene met zijde gewrevene glazen stang, de andere door eene met bontwerk gewrevene lakpijp electrisch gemaakt is, bezigt, neemt men het volgende merkwaardige verschijnsel waar: Het eene balletje, hetwelk door de glazen stang afgestooten wordt, wordt door de lakpijp aangetrokken, het door de lakpijp afgestootene daarentegen door de glazen stang. Bij gevolg is de electriciteit van het gewrevene glas niet identisch met die der hars; omdat elk datgene aantrekt, hetwelk door de andere afgestooten wordt.

Fig. 351.



Deze beide electriciteiten heeft men den naam van *glasachtige* en van *harsachtige electriciteit* gegeven. De glasachtige electriciteit wordt ook de *positieve*, de harsachtige de *negatieve* genoemd. De ontdekking der beide verschillende electriciteiten werd in het jaar 1773 door DUFAY gedaan.

Over de electrische vloeistoffen en den natuurlijken toestand der 16
ligchamen. Uit de snelheid, waarmede de electriciteit zich in de geleiders verspreidt, heeft men de gevolgtrekking gemaakt, dat zij eene hoogst beweegbare vloeistof is, en uit de tegenstelling der glasachtige en harsachtige electriciteit maakte men verder op, dat er twee dusdanige vloeistoffen bestaan, even als er twee magnetische vloeistoffen zijn. Wanneer deze beide vloeistoffen in een ligchaam verbonden zijn, wanneer zij elkander in hetzelve wederkeerig veronzijdigen, dan verkeert dit in zijnen natuurlijken toestand. Doch wanneer in een ligchaam de beide electriciteiten ontleed worden, wordt het electrisch; en wel positief, indien de glasachtige, negatief, indien de harsachtige electriciteit de overhand heeft. Tusschen de electrische en magnetische vloeistoffen bestaat echter een wezentlijk verschil; de laatst genoemde is in de magnetische deeltjes als het ware opgesloten, zij kan zich uit dezelve niet verwijderen, terwijl de electrische vloeistoffen vrij van het eene ligchaam tot het andere kunnen overgaan.

Wanneer door wrijven in een ligchaam $+E$ vrij gemaakt wordt, dan moet er ook in gelijke hoeveelheid $-E$ ontwikkeld worden. Men kan dit door eene eenvoudige proef bewijzen: Wanneer men twee schijven van verschillende zelfstandigheden, ieder door eene glasstaaf geisoleerd, tegen elkander wrijft, vertoonen zij, zoo lang zij op elkander liggen, geen spoor van electriciteit; doch zoodra men ze van

elkander verwijdert, is de eene positief, de andere even sterk negatief electrisch. Tot het doen dezer proef is het bijzonder gepast, indien de eene schijf van glas, de andere b. v. van hout en met een lederen bekleedsel overtrokken is, hetwelk men met een weinig amalgama bestreken heeft. Men kan evenwel ook schijven van elke andere zelfstandigheid, hars, metaal, enz. bezigen, en, tot meerdere afwisseling der proeven, dezelve met verschillende zelfstandigheden, laken, zijde, papier, enz. bekleeden.

Fig. 352.



Daar een ligchaam in zijnen natuurlijken toestand beide electriciteiten in gelijke hoeveelheid bevat, bestaat er geene reden om te veronderstellen, dat het bijzonder geschikt is om bij voorkeur eene der beide op te nemen en terug te houden; het kan derhalve door wrijven nu eens +, dan weder — electrisch worden, naarmate men eene andere zelfstandigheid tot wrijven bezigt. Glas b. v. wordt, met wol of zijde gewreven zijnde, positief, met kattenvel gewreven, negatief electrisch. Om de vloeistoffen naauwkeuriger te bepalen, moet men dus zeggen: de $+E$ is die, welke het glas door wrijven met wol of zijde aanneemt; de $-E$ daarentegen die, welke de hars aanneemt, wanneer men dezelve met kattenvel, wol of zijde wrijft.

Veronderstellen wij, dat men eene lijst van verschillende ligchamen gemaakt hebbe in dier voege, dat elk voorgaand met alle volgende gewreven zijnde, + elektrisch wordt, dan zal men weldra bespeuren, dat bij de minste verandering van omstandigheden die volgorde eene verandering ondergaat. Eene verandering in de luchtgesteldheid b. v. kan oorzaak wezen, dat een ligchaam in die reeks meer naar boven of naar beneden verplaatst moet worden, Dikwerf wordt dit zelfde verschijnsel te weeg gebragt, wanneer men een ligchaam meer polijst, of deszelfs oppervlakte ruwer maakt. De kleur, de plaatsing der moleculen of de rigting der vezels, zelfs eene meer of minder sterke drukking, kan soortgelijke verschijnselen te weeg brengen. Een zwart zijden lint b. v. wordt, met een wit zijden gewreven zijnde, altijd negatief electrisch. Zelfs indien men twee stukken van hetzelfde lint kruiselings wrijft, wordt datgene, hetwelk men vasthoudt, positief, het andere negatief electrisch. Indien men eene gepolijste glazen schijf op eene mat geslepene wrijft, nemen zij insgelijks eene tegenovergestelde electriciteit aan, enz.

17 **Mededeeling der electriciteit.** De vrij gemaakte electriciteit kan zoo wel bij onmiddellijke aanraking, als ook op grooteren afstand van het eene ligchaam op het andere overgaan; doch de medeeling is altijd afhankelijk van het geleidingsvermogen der ligchamen en de grootte hunner oppervlakte.

Bij de aanraking met een electrisch ligchaam, nemen slechts geleiders alleen op de onmiddellijk in aanraking zijnde plaats de electriciteit aan, zij verspreidt zich echter niet over hunne geheele uitgestrektheid. Wanneer men omgekeerd eenen geëlec-

triseerden isolator op eene plaats aanraakt, verliest hij slechts onmiddellijk op die plaats een weinig electriciteit; de geheele niet aangeraakte oppervlakte blijft even als te voren electrisch. Zeer gemakkkelijk laat dit zich met eene gewreven glas- of lakpijp aantoonen. Met goede geleiders is het geheel anders gesteld. Wanneer men eenen geleider op eenig punt met een electrisch ligchaam aanraakt, verspreidt de overgegane electriciteit zich over deszelfs geheele uitgestrektheid; en wanneer men eenen geïsoleerden electrischen geleider met den grond in geleidende gemeenschap brengt, dan verliest hij oogenblikkelijk al zijne electriciteit.

Ook zonder onmiddellijke aanraking kan de electriciteit van het eene ligchaam op het andere overgaan, en men neemt daarbij het merkwaardige verschijnsel der *electrische vonk* waar. Wanneer men aan eene gewrevene glazen stang of pijp van schellak eene metalen staaf of den knobbel eens vingers voorhoudt, ziet men eene helder glinsterende vonk overspringen en hoort tevens een knappend geluid. Wanneer het geëlectriseerde ligchaam een geïsoleerd metaal is, hetwelk eene belangrijke oppervlakte heeft, zoo als de conductor eener electriseermachine, dan worden de vonken sterker; reeds op eenen afstand van twaalf duim springen zij over; haar licht is alsdan schitterend helder, en het geluid hetwelk dezelve vergezeld, zeer sterk.

Otto von Guericke, de uitvinder der luchtpomp, heeft het eerst de electrische vonk waargenomen. Later toonde Dufay tot een ieders verwondering, dat men zelfs uit het menschelijk ligchaam, even als uit den conductor der machine, vonken trekken kan.

Om deze proef te bewerkstelligen, plaatst men zich op eenen harskoek, of op een met glazen pooten voorzien voetbankje (isoleerbankje) en brengt het ligchaam met den conductor der machine in eene geleidende gemeenschap. Wanneer de machine gedraaid wordt, ontwaart men op de huid, voornamelijk in het gezigt, een eigendommelijk gevoel, ten naastenbij als of men in een spinneweb geraakt was. De haren op het hoofd gaan overeind staan. Wanneer men bij het dusdanig geëlectriseerde menschelijk ligchaam een niet geïsoleerde geleider, b. v. een ander persoon, den knokkel der hand brengt, dan springt eene vonk over, die, op hoe grooteren afstand zij overspringt, des te sterker op het gevoel werkt.

Wanneer de electriciteit van eenen geïsoleerden geleider op eenen anderen overgaat, dan verdeelt zij zich altijd in evenredigheid der oppervlakten. Om derhalve eenen geïsoleerden geleider al zijne electriciteit te doen verliezen, moet men hem in aanraking brengen met eenen anderen, welks oppervlakte onevenredig veel grooter is, b. v. met den vloer, want daardoor is hij in gemeenschap met de oppervlakte der geheele aarde, waarop deszelfs electriciteit zonder eenig spoor verloren

gaat, juist omdat zij zich over eene zoo ontzaggelijk groote oppervlakte gelijkmatig verdeelt. Wanneer men een geïsoleerde geëlectriseerde metalen bol met eenen anderen even grooten, insgelijks geïsoleerden, doch niet electrischen bol in aanraking brengt, dan zal de eerste juist de helft zijner *E* verliezen. Wanneer men tot den conductor eener electriseermachine eenen geïsoleerden metalen bol nadert, springen slechts zwakke vonken over; terwijl men met eenen niet geïsoleerden geleider zeer sterke vonken uit denzelven trekken kan.

Eene pas uitgebluschte kaars kan door de electrische vonk weder ontstoken worden. Insgelijks kan men ether en alcohol door de electrische vonk aansteken: om dit te bewerkstelligen, giet men de vloeistof in een metalen bakje en brengt bij derzelver oppervlakte het geëlectriseerde ligchaam, van hetwelk de vonk overspringen moet.

Het electrisch pistool is in Fig. 353 voorgesteld. Het bestaat uit een klein metalen vat, hetwelk met eene kurken stop gesloten is. Een metalen draad, die in twee bolletjes *b* en *b'* eindigt, steekt in het vat, zonder met deszelfs wanden in geleidende gemeenschap te staan. Ter daarstelling hiervan, is de draad door zegellak in eene glazen buis *t t'* en deze in eene opening van den zijdelingschen wand bevestigd. De electrische vonk, welke door dien draad geleid wordt, springt van het bolletje *b'* op den tegenoverstaanden wand over. Indien nu het vat met een ontploffend gas, b. v. met een mengsel van waterstof en dampkringslucht, gevuld is, alsdan veroorzaakt de vonk de ontvlamming; de stop wordt met eenen luiden knal weg geslingerd.

Fig. 353.



TWEEDE HOOFDSTUK.

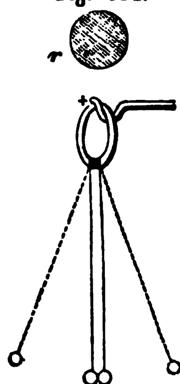
Electriciteit door verdeeling.

18 Wij hebben gezien, dat elke der electrische vloeistoffen de gelijknamige afstoot en de ongelijknamige aantrekt. Deze aantrekking en afstooting echter heeft niet alleen plaats bij de reeds ontlede vloeistoffen, maar ook bij de nog verbondene; en hierin is de reden gelegen, waarom door de aannadering van een electrisch ligchaam de verbondene electriciteiten eens ligchaams, hetwelk zich in zijnen natuurlijken toestand bevindt, verdeeld worden.

Aan eenen isolerenden haak hange men eenen metalen ring, waaraan twee zeer fijne metaaldraden bevestigd zijn, aan wel-

ker uiteinden zich ronde vlierpit-balletjes bevinden. Zonder dat er eene vonk over springt, verwijderen zich, bij aannadering van een electrisch ligchaam *r*, de balletjes weldra van elkander, zelfs wanneer *r* zich nog op tamelijk verren afstand van dezelve bevindt. Hoe nader bij men *r* brengt, des te meer divergeren de balletjes. Dat dit niet de werking van overgegane electriciteit is, blijkt daaruit, dat de slingers dadelijk zich weder vereenigen, zoodra men *r* verwijdert. De electriciteiten, die vóór de aannadering van *r*, in den metalen ring en de slingers verbonden waren, zijn gescheiden; de *E* welke met die in *r* gelijknamig is, wordt naar de balletjes afgestooten, de ongelijknamige naar den ring opgevoerd. Indien het vóorgehoudene electrische ligchaam *r* eene gewrevene harsstaaf, dus — electrisch is, zal de ring + electrisch, de balletjes — electrisch zijn.

Fig. 354.



Dat de electriciteiten wezentlijk op die wijze verdeeld zijn, kan door een proefschijfje bewezen worden. Dit werktuig bestaat uit een schijfje klatergoud of goudpapier van 1 tot 2 duim diameter, hetwelk aan een lang staafje schellak of een gevernist zeer dun glaspijpje bevestigd is. Houdt men dit schijfje op den ring, terwijl het negatief electrische ligchaam *r* zich zoo-nabij de slingers bevindt, dat deze divergeren, alsdan zal het proefschijfje met de electriciteit van den ring geladen worden, en welke soort van electriciteit deze zij, blijkt wanneer men het bij eenen eenvoudigen electrischen slinger brengt, dien men reeds te voren geëlectriseerd heeft. Gesteld, men heeft dien slinger door aanraking met eene glazen buis + electrisch gemaakt; dan zal in dit geval dezelve door het proefschijfje afgestooten worden, omdat dit, even als de ring, + electrisch is.

Fig. 355.



De proef kan ook nog op de volgende wijze genomen worden. Aan elk der haakvormig gebogene uiteinden eener, op eenen isolerenden glazen voet bevestigde metaalstaaf, hange men een paar slingers, wier draden geleidend moeten zijn, ten welken einde daartoe geheel dunne metalen of linnen draden kunnen gebezigd worden. Zoodra men een electrisch ligchaam *r* nader bij brengt, divergeren de beide paren slingers, doch de balletjes van het eene zijn met positieve, die van het andere echter met negatieve electriciteit geladen. Zoo men *r* verwijdert, vereenigen de balletjes zich weder, omdat de gescheidene electriciteiten zich dadelijk wederom verbinden.

Een door verdeeling geëlectriseerd ligchaam werkt van zijnen kant ook weder verdeelend op andere, die genoegzaam in

zijne nabijheid gebragt worden, die zich derhalve in zijnen werkingskring bevinden; en deze werkingen kunnen zich op tamelijk verren afstand voortplanten. Men behoeft slechts Fig. 357 te beschouwen, om te zien, welken toestel men b. v. tot

Fig. 356.

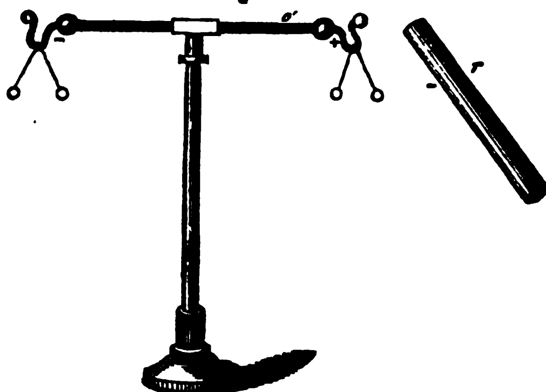
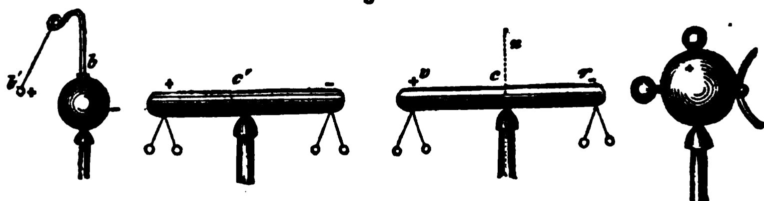


Fig. 357.



bewijs hiervan bezigen kan: *m* is de conductor eener electriseermachine, *c* een geïsoleerde metalen cijlinder, *c'* een tweede, *b* een metalen bal en *b'* een vlierpitballetje.

Indien men eenen geïsoleerden geleider, die door verdeeling electrisch gemaakt is, met den grond in geleidende verbinding stelt, terwijl het electrische ligchaam door zijne nabijheid nog verdeelend werkt, alsdan wordt alle afgestootene electriciteit in den grond weggevoerd, en de geïsoleerde geleider is nog slechts met die electriciteit geladen, welke hij van het verdeelende ligchaam ontvangt. Neemt men vervolgens de geleidende verbinding met den grond weder weg, en verwijdert daarna *r*, dan is de geïsoleerde geleider geladen, en wel over zijne geheele uitgestrektheid met eene en dezelfde soort van electriciteit.

De in Fig. 354 afgebeelde toestel is, wanneer dezelve in eene meer doelmatige vorm overgebragt wordt, een uitmuntende electrometer. Ten dien einde moet men vooral zorg dragen, dat de slingers zich in eene glazen flesch bevinden, opdat uitwendige invloeden, b. v. luchtstroomingen, enz. geene ver-

storende werking er op uitoefenen, en ten anderen moet de geleidende toestel naauwkeurig geïsoleerd zijn. De slingers kunnen bestaan uit stroohalmpjes, vlierpitballetjes, die aan fijne metalen draden hangen, of alleen uit metaalblaadjes.

Fig. 357 stelt eenen goudblad-electrometer voor. Door den hals der flesch gaat eene glazen buis, door welke een met schellak overtrokken metalen staafje in de flesch hangt. Aan het onderste einde van dat staafje zijn de slingers van bladgoud bevestigd; op het bovenste is eene metalen plaat geschroefd.

Ten einde de afwijking der slingers te kunnen meten, plaatst

Fig. 357.



Fig. 358.



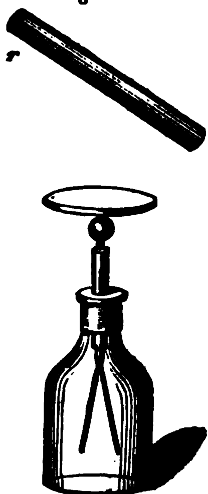
men in de flesch eenen verdeelden graadboog, of wel men bezigt in plaats van eene flesch, een glazen kastje (zie Fig. 358) en bevestigt de verdeeling aan eene van deszelfs zijden.

De door Fig. 353 bewerkstelligde proef kan ook met de pas beschrevene electrometers genomen worden. Zoo men een electrisch ligchaam, b. v. eene gewrevene glaspijp, boven bij de plaat brengt, wijken de slingers van elkander af. Door proefschijfjes kan men de soort der in de bovenste plaat opgehoopte electriciteit ontdekken; zij is de tegenovergestelde van die, welke het genaderde ligchaam *r* bezit.

Indien men onderzoeken wil, welke soort van electriciteit eenig ligchaam bezit, moet de electrometer reeds van te voren met eene bekende electriciteit geladen zijn. Dit geschiedt door een ligchaam *r*, hetwelk eene bekende electriciteit bezit, er bij te brengen en de plaat met den vinger aan te raken. Daardoor wordt alle afgestootene electriciteit afgeleid, en in den toestel blijft slechts de aangetrokkene, die op de plaat opgehoopt is. Zij is daar als het ware *gebonden*, d. i. zij kan zich niet verwijderen, omdat zij door *r* aangetrokken wordt, daarom divergeren de slingers niet. Zoodra men echter eerst den vinger en vervolgens het ligchaam *r* verwijdert, divergeren de slingers, omdat thans de electriciteit, die door het ligchaam *r* in de

plaat gebonden was, zich vrij over den geheelen geïsoleerden toestel, dus ook over de blaadjes verspreidt. Natuurlijk is de electriciteit, waarmede de electrometer op die wijze geladen wordt, de tegenovergestelde van die, welke het ligchaam *r* bezit. Indien men dus den toestel negatief wil laden, kan men eene met zijde gewrevene glazen stang bezigen, doordien deze positief electrisch is.

Fig. 359.



Brengt men bij den in dier voege geladen electrometer een electrisch ligchaam, dan zal daardoor de afwijking der slingers of grooter of kleiner worden. Zij wordt grooter, indien de *E* van het ligchaam hetwelk onderzocht moet worden, gelijknamig is met die, welke men aan den toestel medegedeeld had; want door de nabijheid van dat ligchaam worden de electriciteiten van den electrometer nog meer volkomen ontleed, dan reeds te voren geschied was; in de slingers wordt nog meer electriciteit van dezelfde soort, dan reeds in dezelve aanwezig was, gevoerd, derhalve moet hunne afwijking grooter worden.

Indien het genaderde ligchaam ongelijknamig is met die *E*, welke men aan den electrometer medegedeeld had, wordt de afwijking kleiner, omdat de electriciteit thans uit de slingers in de plaat getrokken wordt. Zoo men den toestel met eene der beide electriciteiten geladen heeft, bevinden zich evenwel in denzelven nog niet ontlede electriciteiten, die door het genaderde ligchaam ontleed worden. Indien nu de *E* van het genaderde ligchaam ongelijknamig is met die, in den electrometer aanwezig, dan wordt de reeds aanwezige in de plaat getrokken, de andere in de slingers gedreven; derhalve moet de afwijking kleiner worden. Wanneer het genaderde ligchaam zich op eenen bepaalden afstand bevindt, zullen de electriciteiten in de slingers elkander juist veronzijdigen; de slingers zullen volkomen zamenvallen. Indien men het te onderzoeken ligchaam nog meer nabij brengt, divergeren de slingers op nieuw, doch thans met de tegenovergestelde *E* van die, welke hen voorheen deed divergeren.

Wanneer men bij eenen geladenen electrometer eenen niet electrischen geleider brengt, wordt de afwijking der slingers insgelijks kleiner. Dit is gemakkelijk te verklaren als een noodwendig gevolg van de wetten der electrische verdeeling.

Indien men door eenen geïsoleerden geleider twee gelijke electrometers verbindt en bij eenen derzelver een electrisch ligchaam *r* brengt, dan divergeren de slingers in beide, en wel in den eenen met +, in den anderen met — *E*. Verwijdert men nu den verbindenden geleider (natuurlijk moet men den-

zelven in dit geval bij het isolerend handvat aanvatten), dan kunnen de slingers zich niet weder vereenigen, al verwijdert men ook wederom het ligchaam *r*, hetwelk de verdeeling bewerkte, omdat de van een gescheidene electriciteiten geenen

Fig. 360.



weg hebben, langs welken zij weder tot elkander kunnen overgaan. Dat de electriciteiten in beide toestellen van eene tegenovergestelde soort zijn, kan men daaruit zien, dat, indien men een en hetzelfde electrische ligchaam nu bij den eenen, dan bij den anderen electrometer brengt, bij den eenen de afwijking grooter wordt, terwijl bij den anderen de slingers zamenvallen.

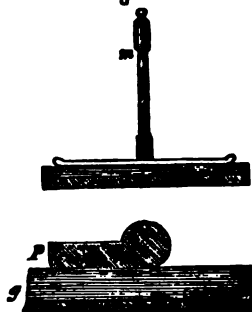
De boven beschrevene verschijnselen van aantrekking nu zijn ook te verklaren uit de wetten der electrische verdeeling. Wanneer men bij een ligchaam, hetwelk zich in zijnen natuurlijken toestand bevindt, een electrisch brengt, worden deszelfs electriciteiten ontleed. Dit nu heeft ook plaats bij het kurkenballetje van den eenvoudigen electrischen slinger. Hangt dit aan eenen zijden draad, dan kan de afgestootene *E* niet uit het balletje ontwijken, zij wordt naar de achterzijde van hetzelve gedreven, terwijl de aangetrokkene zich aan de voorzijde ophoopt. Doch dewijl de aangetrokkene *E* nader bij het ligchaam is, van hetwelk de werking uitgaat, is de aantrekking sterker dan de afstooting. De kracht, welke het balletje naar het electrische ligchaam heen stuwt, is gelijk aan het verschil dier beide tegengestelde krachten; om die reden zal in dit geval ook eerst bij zeer geringen afstand van het electrische ligchaam eene aantrekking plaats hebben. Veel sterker is de werking, bij aldien het balletje aan eenen geleidenden draad hangt, omdat alsdan de afgestootene *E* ontwijken kan, en door haar de aantrekking niet verzwakt wordt.

Een balletje van schellak wordt bij aannadering van een electrisch ligchaam niet aangetrokken, omdat het genaderde ligchaam alechts zeer moeijelijk eene verdeeling in hetzelve

bewerken kan. Dit verschijnsel is overeenkomstig met dat, waarbij door eenen magneet in een stuk zacht ijzer eene magnetische verdeeling wordt te weeg gebragt, terwijl zulks in een stuk staal veel moeijelijker is.

19 **De electrophoor** is een der belangrijkste electrische toestellen en kan zelfs in vele gevallen de electriseermachine vervangen. Dezelve bestaat uit eenen harskoek, die, zoo als Fig. 361 aanwijst, in eenen metalen vorm, even als in een metalen bord, gegoten is, of wel uit eenen harskoek, dien men slechts op eene eenigzins grootere metalen plaat legt. Een hoofdvereischte is, dat de oppervlakte van den harskoek zoo glad mogelijk zij. Plat op dien harskoek, welks oppervlakte door er met eenen vossenstaart of een kattenvel op te slaan negatief electrisch gemaakt wordt, zet men een metalen deksel, hetwelk van een isolerend handvat *m* voorzien is. De — *E* van den harskoek werkt verdeelend op de tot dus ver nog verbondene electriciteiten in het deksel; de + *E* wordt aangetrokken, de — *E* echter afgestooten: derhalve zal zich de + *E* in het onderste, de — *E* in het bovenste gedeelte van het deksel ophoopen. Brengt men den knokkel van den vinger bij het deksel, dan springt eene vonk over, en wanneer men het deksel met den vinger aanraakt, zal alle — *E* zich verwijderen en het deksel alleen met + *E* geladen worden, welke echter door de — *E* van den harshoek gebonden is, zoo lang het deksel er op blijft liggen. Neemt men echter het deksel van den koek weg, door hetzelve bij het isolerend handvat op te beuren, dan wordt die + *E* vrij, en men kan thans uit het deksel eene vonk positieve electriciteit trekken.

Fig. 361.



Indien de harskoek vrij op eene metalen plaat ligt, heeft men minder te vreezen, dat de koek bij ontstaande verandering in de temperatuur springen zal, iets hetgeen wegens de ongelijke uitzetting van het metaal en van de hars, bij de ingegotene koeken ligtelijk het geval is. De beste massa voor eenen electrophoor is schellak met een weinig Venetiaanschen terpentijn vermengd.

Tot metalen plaat, waarop men den harskoek legt, kan men eene zinkplaat nemen. Het deksel is doorgaans van geel koper en met eenen afgeronden rand voorzien. Men kan evenwel ook deksels van glas, hout of bordpapier gebruiken, die met bladtin overtrokken zijn, slechts moet men zorg dragen, dat de onderste vlakte, die op den harskoek te liggen komt, even als deze zelf, zoo glad mogelijk zij. In plaats van het isolelerende glazen handvat, kan men aan het deksel ook drie zijden koorden bevestigen.

De electriseermachine bestaat uit een wrijvend ligchaam, een ligchaam hetwelk gewreven wordt, en eenen geisoleerden geleider. 20

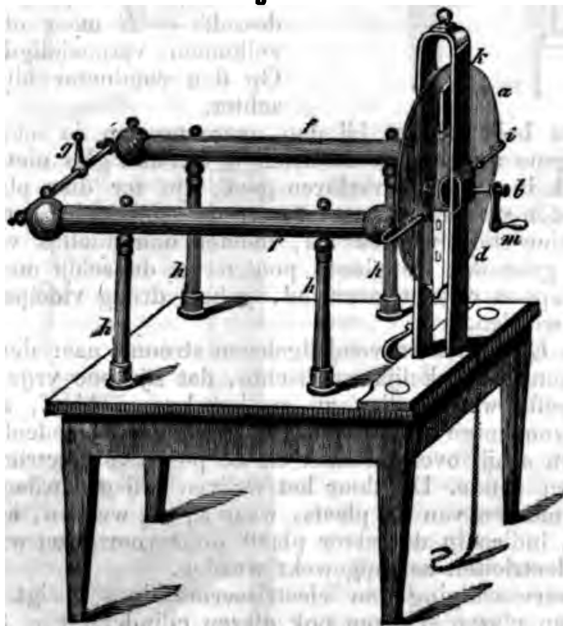
Het wrijvende ligchaam is gewoonlijk een met paardenhaar gevuld kussen. De wrijvende vlakte is leder, hetwelk met *amalgama* besmeerd is.

Het gewrevene ligchaam is eene glazen schijf of een glazen cilinder.

De geïsoleerde conductor is doorgaans een stelsel holle cilinders van geel plaatkoper, die aan de uiteinden afgerond zijn en door glazen kolommen gedragen worden, welke met een vernis van schellak overtrokken zijn.

Men heeft aan de electriseermachine velerhande verschillende inrigtingen gegeven. Eene der meest gewone is die, welke in Fig. 362 wordt voorgesteld. De diameter der glazen

Fig. 362.



schijf *a* verschilt van 20 tot 60 duim. In het midden is dezelve doorboord, en door de opening gaat eene as *b*, waaraan de kruk *m* bevestigd is. De stijlen *d* dragen tevens de schijf en de twee paar kussens *e* en *e'*, door welke de schijf van haren rand af tot op ongeveer $\frac{1}{4}$ of $\frac{1}{3}$ van haren halven diameter gewreven wordt. De conductor *f g f'* is door de stijlen *h* geïsoleerd en eindigt met twee armen *i*, die de schijf aan het uiteinde van haren horizontalen diameter omvatten.

In Fig. 363 en 364 is de inrigting der kussens en de wijze, waarop zij bevestigd zijn, duidelijker voorgesteld.

Wanneer men door middel der kruk de glazen schijf ronddraait, wordt zij door de wrijving aan de met amalgama bestrekene lederen kussens + electrisch. Na elk vierde gedeelte eener omdraaijing echter komt altijd eene pas van tusschen de kussens komende plaats der schijf aan de omgebogene armen *i*. De + *E* van het glas werkt daar ontledend op den conductor; de — *E* wordt aangetrokken en stroomt op het glas over, waardoor het weder in deszelfs gewonen toestand gebragt, d. i. deszelfs + *E* meer of minder volkomen veronzijdigd wordt. Op den conductor blijft + *E* achter.

Fig. 363.

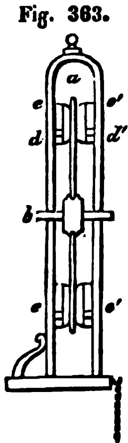
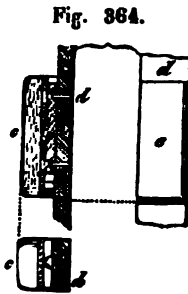


Fig. 364.



Om te beletten dat bij den overgang van de schijf op de omgebogene armen *i* de electriciteit van het glas niet zoo gemakkelijk in de lucht verloren gaat, zijn ter dier plaatse op beide zijden stukken gewast taf over de schijf gehangen. Indien de machine sterk werken zal, moeten onmiddellijk vóór men dezelve gebruikt, de glazen pooten en de schijf met warme wollen lappen of met gewarmd, geheel droog vloeipapier gewreven worden.

De — *E* van het wrijvend ligchaam stroomt naar den grond. Het is een noodzakelijk vereischte, dat zij eene vrije afstrooming heeft; want indien zij op het kussen bleef, zoude zij weldra zoodanige spanning verkrijgen, dat zij gedeeltelijk op de glazen schijf overstroomen en de positieve electriciteit veronzijdigen zoude. De door het wrijven vrij geworden electriciteiten moeten van de plaats, waar zij vrij werden, afgevoerd worden, indien in derzelver plaats door voortgezet wrijven op nieuw electriciteit zal opgewekt worden.

Ter vervaardiging van electriseermachines bezigt men in plaats van glazen schijven ook glazen cilinders. Fig. 365 stelt eene cilinder-machine voor, die zoo als gewoonlijk derwijze ingerigt is, dat men door dezelve naar welgevallen positiéve of negatieve electriciteit bekomen kan; *a* is de glazen cilinder, die om eene horizontale as *b* kan bewogen worden en welke over zijne geheele lengte door een enkel kussen *e* gewreven wordt. Dit kussen staat met den conductor *r* in gemeenschap. De conductor *v* staat regt tegen over het kussen *e* en is aan de naar den cilinder gekeerde zijde van punten voorzien. Opdat het aan het kussen gewrevene glas vóór het den con-

ductor *v* bereikt, zijne electriciteit niet verlieze, is de bovenste helft des cilinders met een stuk gewast taf overdekt, hetwelk

Fig. 365.

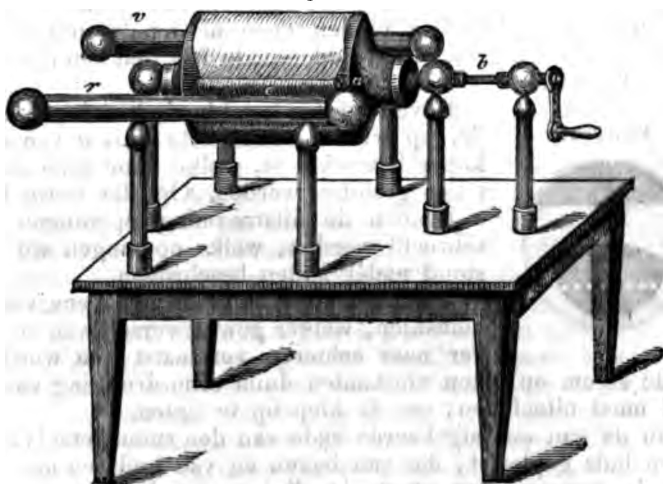
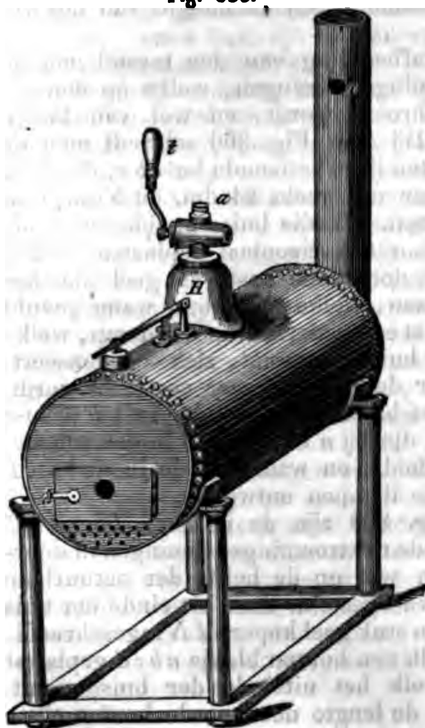


Fig. 366.



aan het kussen *e* bevestigd is. De conductor *v* is natuurlijk met $+E$ geladen. Indien men dezen conductor sterk met $+E$ wil laden, moet men den anderen, *r*, met den grond in geleidende gemeenschap stellen. Verkiest men daarentegen den conductor *r* sterk met $-E$ te laden, alsdan moet men zorg dragen, dat de $+E$ vrijelijk van den conductor *v* afstroomen kan.

De stoom-electriseermachine. 21
Toevallig ontdekte men vóór verscheidene jaren in Engeland, dat een stoomketel, uit welken door eene kleine opening de stoom met geweld ontsnapte, sterk electrisch was. Door deze ontdekking verder na te gaan, gelukte het eenen stoomketel tot eene electriseermachine in te rigten,

wier werking alle tot heden bekende electriseermachines ver overtreft. In Fig. 366 is dusdanige machine van middelbare grootte voorgesteld. De stoomketel, die eenen diameter van 44 dm. heeft, is 96 dm. lang en rust op vier glazen pooten. Het stoken geschiedt van binnen even als bij de stoomketels op stoombooten, gelijk uit de doorsnede van den ketel in Fig. 367 te zien is.

Fig. 367.



Boven op den ketel bevindt zich een hoed *H*, op welken eene korte buis *a* van geel koper bevestigd is, welke door eene kraan *t* kan gesloten worden. Op die korte buis *a* kunnen de uitstroomings-openingen geschroefd worden, welke openingen wij terstond nader zullen beschrijven.

Vóór den hoed bevindt zich eene veiligheidsklep, welker gewigt verschoven en zóó ver naar achteren verplaatst kan worden, dat de stoom op elken vierkanten duim eene drukking van 90 pond moet uitoefenen, om de klep op te ligten.

Aan de van ons afgekeerde zijde van den stoomketel is eene glazen buis geplaatst, die van boven en van onderen met den ketel in gemeenschap staat, in dier voege dat men aan die buis, juist zoo als bij de locomotieven, de hoogte van het water waarnemen kan.

Fig. 368 geeft ons eene afbeelding van den toestel met de uitstroomings-openingen, welke op den ketel geschroefd wordt, en wel van boven gezien. Bij *a* in Fig. 366 schroeft men de uit gegoten ijzer bestaande buis *b c*, die eene lengte van omstreeks 24 dm. en 5 dm. diameter heeft. Uit die buis ontwijkt alsdan de stoom door 6 horizontaal geplaatste buizen *d d'*, die door eene kast van geel plaatkoper *F* gaan, welke met koud water gevuld is, zoo dat een gedeelte van den damp, welke door de buizen stroomt, zich condenseert, waardoor de werking zeer versterkt wordt.

Fig. 368.



Op eene opening *o* in het bovenste deksel der kast *F* plaatst men eene geelkoperen buis, die bij *n* in Fig. 366 in den schoorsteen geleidt, en waardoor de in de kast *F* gevormde dampen ontwijken.

Fig. 369.



In Fig. 369 zijn de in Fig. 368 met *d'* geteekende uitstroomings-openingen in doorsnede en wel op de helfte der natuurlijke grootte voorgesteld. Aan het einde der buis wordt een stuk geel koper *M N* ingeschroefd, in hetwelk een houten blokje *a b c d* geplaatst is, hetwelk het uiteinde der buis vormt. Deze in de lengte doorboorde houten cilin-

der wordt door eenen in het geel koperen stuk *MN* geschroefden korteren cilinder van geel koper *r* in zijnen stand gehouden. Aan dezen insgelijks doorboorden cilinder *r* is van voren voor zijne opening eene plaat van geel koper in dier voege geplaatst, dat de stoom den omweg, welke door den pijl aangewezen is, nemen moet om in de uitstroomings-opening te komen.

Wanneer de toestel in Fig. 368 afgebeeld, op den stoomketel geschroefd is en de stoom de vereischte spanning verkregen heeft, wordt door eene kwart-omdraaijing van het handvat *t* in Fig. 366, de afsluitingskraan geopend; de stoom stroomt met kracht uit de zes openingen en spoedig wordt de ketel insgelijks electrisch. De ontwijkende stoom heeft de tegenovergestelde electriciteit van den ketel. Ter verkrijging van eene werking, die zoo sterk mogelijk, moet de electriciteit van den stoom zoo veel doenlijk afgeleid worden. Dit geschiedt door in den stoomsprong eene reeks metalen punten te plaatsen, die aan eene staaf van geel koper bevestigd zijn en met den grond in geleidende verbinding staan. Deze staaf is op eenen glazen voet geplaatst, zoo dat men denzelven isoleren kan, ten einde aan te toonen, dat de stoom in der daad de tegenovergestelde electriciteit van den ketel bezit.

Door deze stoom-electriseermachine kan in den tijd van 30 seconden, eene batterij van 36 vierkante voeten oppervlakte volledig geladen worden.

Deze sterke ontwikkeling van electriciteit, wordt niet, zoo als men in den beginne geloofde, veroorzaakt door de vorming der stoom zelve, maar alleen door de wrijving, welke de met waterdeeltjes vereenigde hevig uitstroomende stoom aan de wanden der uitstroomings-buizen veroorzaakt. Dat dit de wezentlijke oorzaak is blijkt daaruit, dat, indien men de veiligheidsklep opent, dadelijk alle electriciteit verdwijnt, niettegenstaande de vorming van stoom onafgebroken voortduurt.

Tot opwekking van electriciteit wordt volstrekt vereischt, dat reeds gecondenseerde waterdeeltjes door de uitstroomende stoom mede door de uitstroomings-buizen gedreven worden. Hiertoe dient de verdikkings-toestel *F* in Fig. 368. Deze afzonderlijke toestel is echter onnoodig, indien de uitstroomings-buizen lang genoeg zijn.

Indien, zoo als vroeger gezegd is, de opening door welke de stoom ontwijkt, uit eene houten buis bestaat, is de ketel negatief, de stoom positief electrisch: dit zelfde heeft plaats, indien men eene metalen of glazen opening bezigt. Gebruikt men echter in plaats van eene houten, eene ivoren buis, dan vertoont de ketel naauwelijks een spoor van electriciteit.

Indien men vóór die opening een weinig terpentijn-olie in de uitstroomings-buis giet, wordt de ketel positief en de stoom negatief electrisch.

DERDE HOOFDSTUK.

Over de electrische krachten.

22 **Vermindering der electrische krachten bij toenemenden afstand.** De wetten volgens welke de electrische aantrekkingen en afstootingen bij toenemenden afstand verminderen, kunnen door de slingeringen van eenen electrischen slinger bewezen worden. Men laat eene kleine naald van schellak, die horizontaal aan eenen zijden draad hangt en aan een harer uiteinden een geëlectriseerd schijfje bladgoud draagt, onder den invloed van eenen geïsoleerden bol, welke geëlectriseerd is, slingeren. Indien de bol en het schijfje met dezelfde electriciteit geladen zijn, is het einde der naald, waaraan het schijfje bevestigd is, van den bol afgekeerd; doch bezitten de bol en het schijfje tegenovergestelde electriciteiten, alsdan is het schijfje naar den bol gekeerd. Op dezelfde wijze kan men uit de slingeringen van den electrischen slinger de krachten, die deszelfs beweging versnellen, berekenen. Uit dusdanige proeven blijkt, dat de electrische aantrekkingen en afstootingen in omgekeerde reden van het vierkant der afstanden staan.

23 **Verdeeling der electriciteit op de oppervlakte van geleidende ligchamen.** Zoo lang een ligchaam zich in natuurlijken toestand bevindt, d. i. zoo lang de beide electrische vloeistoffen nog verbonden zijn, zijn zij waarschijnlijk volkomen gelijkmatig in de geheele massa der ligchamen verdeeld. Doch zoodra de vloeistoffen van elkander gescheiden zijn, zoodra een geleider met vrije electriciteit geladen is, werken de afzonderlijke elementen dier vrije electriciteit afstootend op elkander, en verwijderen zich daarom zoo ver mogelijk van elkander, tot zij door eenig beletsel worden tegen gehouden. Een volmaakt geleidend ligchaam kan in deszelfs binnenste aan die verspreiding geen beletsel in den weg zetten; om die reden verspreidt de electriciteit zich op deszelfs oppervlakte en zoude zich nog verder verspreiden, indien het ligchaam zich in eene ruimte bevond, door welke de electriciteit gemakkelijk konde heendringen. Bij gevolg verspreidt de electriciteit zich altijd op de oppervlakte der geleiders en wordt op dezelve door de lucht tegengehouden, welke haar even als eene niet geleidende laag omringt.

Dat de vrije electriciteit zich slechts op de oppervlakte der ligchamen en niet in derzelver binnenste verspreidt, kan op de eenvoudigste wijze door de volgende proef bewezen worden.

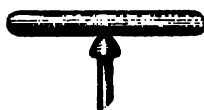
Men isolere eenen bol van 7 tot 8 duim diameter, die eene holte van 8 tot 10 strepen breed en 1 duim diep heeft, en lade denzelven met electriciteit. Indien men nu de oppervlakte van dien bol op eenige plaats met een proefschijfje aanraakt, wordt hetzelve electrisch, doch raakt men met hetzelve den bodem der holte aan, dan blijft het in zijnen natuurlijken toestand.

Thans ontstaat de vraag, op hoedanige wijze de electriciteit zich op de oppervlakte der ligchamen verdeelt.

Indien men eenen geisoleerden bol electriseert, moet reeds volgens de wetten der symmetrie de electriciteit zich over de geheele oppervlakte gelijkmatig verspreiden; zij moet eene laag vormen, die overal eene gelijke digtheid heeft. Door proeven echter kan men zich ook van de wezenlijkheid hiervan overtuigen. Indien men namelijk den geëlectriseerden bol op eenige plaats met een proefschijfje aanraakt, maakt dit daar als het ware een bestanddeel der oppervlakte van den bol uit, en op het proefschijfje verspreidt zich juist zóó veel electriciteit, als op de bedekte oppervlakte van den bol aanwezig was. Neemt men nu het schijfje er af, dan kan men de sterkte van deszelfs electrische lading bepalen door met hetzelve de plaat eens electrometers aan te raken. De goudblaadjes wijken altijd even ver uit elkander, op welke plaats men de oppervlakte van den bol ook met het schijfje aanraakt.

Indien de geïsoleerde geleider, dien men electriseert, niet de gedaante van eenen bol heeft, heeft er ook geene gelijkmatige verdeeling der electriciteit plaats, d. i. de electrische laag, die zich over het ligchaam verspreidt, heeft niet overal dezelfde digtheid. Onderzoekt men door middel van een proefschijfje de digtheid der electriciteit op verschillende plaatsen van eenen cilinder (Fig. 370) met afgeronde uiteinden, dan ontdekt men, dat de digtheid der electriciteit aan de uiteinden veel grooter is dan in het midden. Eene nog veel sterkere lading zal het schijfje verkrijgen, indien men het in dier voege tegen het uiteinde van den cilinder houdt, dat deszelfs vlakte den cilinder niet aanraakt, maar dat deszelfs vlak in de verlenging der as van den cilinder valt. Men verkrijgt volmaakt dezelfde uitkomsten, indien men den electrischen toestand eener schijf, b. v. van het deksel eens electrophoors, onderzoekt.

Fig. 370.



Dat op de oppervlakte van ligchamen, die in verschillende rigtingen eene ongelijke uitgebreidheid hebben, dusdanige verdeeling der electriciteit plaats moet hebben, is gemakkelijk te begrijpen; want ten gevolge der wederzijdsche afstooting van de afzonderlijke deeltjes der electrische vloeistof, zullen zij zich zoo ver mogelijk van het midden des ligchaams verwijderen, bij gevolg zich in de verst van hetzelve afliggende uitstekende deelen ophoopen.

Hoe verder de gedaante van een ligchaam van eenen bol afwijkt, des te ongelijkmatiger verdeelt de electriciteit zich over zijne oppervlakte; zij hoopt zich het meeste op aan de einden die het verst van het midden verwijderd zijn, en wel des te meer naar mate deze dunner zijn. Hieruit volgt, dat, indien men eenen geïsoleerden geleider van eene punt voor-

ziet, de electriciteit aan die punt eene buitengemeene digtheid hebben moet. Doch hoe meer digtheid de electriciteit op eenig punt heeft, des te eerder zal zij den tegenstand der lucht, die haar op het ligchaam poogt terug te houden, kunnen overwinnen. Dit is de reden, waarom de electriciteit zoo gemakkelijk uit punten stroomt. Men kan eene menigte proeven bewerkstelligen, door welke dit vermogen der punten bewezen wordt, doch wij zullen slechts een paar er van aanhalen.

1) Indien men eene punt op den conductor eener electriseermachine plaatst, is het onmogelijk den conductor zoodanig te laden, dat men uit denzelven vonken trekken kan. Alle electriciteit, welke door het draaijen der machine opgewekt wordt, ontwijkt terstond door de punt.

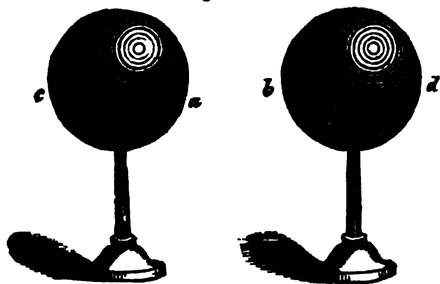
2) Indien men eene punt, die met den grond in geleidende verbinding staat, tot op eenige palmen afstand van den conductor brengt, is het insgelijks onmogelijk, denzelven te laden. De electriciteit van den conductor ontleedt de verbondene electriciteiten der punt, zij stoot de gelijknamige af en trekt de ongelijknamige aan. Deze ongelijknamige electriciteit hoopt zich in de punt zoo sterk op, dat zij tot den conductor overstroomt om deszelfs electriciteit te veronzijdigen.

Op genoemde eigenschap der punten steunt ook de inrigting der *bliksem-afleiders.*

Hoeken en scherpe kanten, die zich aan geleiders bevinden, werken volmaakt op dezelfde wijze als de punten. Derhalve moet men zorgvuldig alle hoekige gedaanten vermijden, indien men toestellen vervaardigen wil, die bestemd zijn om de electriciteit te behouden.

Wanneer in de nabijheid van eenen geïsoleerden electrischen geleider een andere gebragt wordt, ondergaat de verdeeling der electriciteit op de oppervlakten belangrijke wijzigingen. Indien men bij eenen geïsoleerden en geëlectriseerden bol eenen anderen brengt, die insgelijks geïsoleerd en met dezelfde electriciteit geladen is, dan heeft er geene gelijkmatige verdeeling der electriciteit meer op de oppervlakte der bollen plaats.

Fig. 371.



Omdat namelijk de *E* van den eenen bol die van den anderen afstoot, zal aan die punten der bollen, welke naar elkander gekeerd zijn, de digtheid der *E* het geringste, aan de tegen overgestelde punten echter het grootste zijn. Fig. 371 stelt twee dusdanige bollen voor. In *a* en *b* is de digtheid der *E* het geringste, in *c* en *d* het grootste. Hoe nader men de bollen bij elkander brengt,

des te meer neemt de digtheid in a en b af, doch vermeerdert in c en d. Laat men de bollen elkander aanraken, dan is de digtheid der E aan de plaats van aanraking gelijk nul. Indien de beide bollen met tegenovergestelde electriciteiten geladen geweest waren, zoude men in a en b de grootste, in c en d de kleinste digtheid gevonden hebben. De digtheid der E in a en b neemt toe, wanneer men de bollen digter bij elkander brengt, tot dat eindelijk eene vonk overspringt.

Indien men eenen niet geëlectriseerden geleider in de nabijheid van eenen geëlectriseerden en geïsoleerden brengt, werkt dezelve volmaakt op dezelfde wijze als een met de tegenovergestelde electriciteit geladen ligchaam. De reden hiervan is, omdat dezelve bij de aannadering door verdeeling (*inductie*) electrisch wordt.

VIERDE HOOFDSTUK.

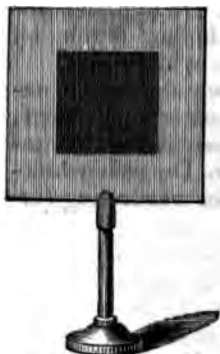
Over de gebondene electriciteit.

Wij hebben reeds gezien, dat, indien twee geïsoleerde met 24
tegenovergestelde electriciteit geladen geleiders door eene luchtlaag van elkander gescheiden zijn, de electriciteit van den eenen die van den anderen in dier voege aantrekt, dat men beurtelings het eene of het andere der beide ligchamen met den grond in geleidende verbinding kan brengen, zonder deszelfs electriciteit volkomen te kunnen afleiden. Laat in Fig. 371 b. v. de bol aan de linker zijde met positieve, die aan de regter met negatieve electriciteit geladen zijn, dan kan men den een' of anderen bol met den vinger aanraken, zonder dat zij hunne lading verliezen. De electriciteit op den eenen bol wordt door de tegenovergestelde E, die zich op den anderen bevindt, aangetrokken; zij kan zich niet verwijderen: zij is *gebonden*. Hoe digter men de beide electriciteiten bij elkander brengt, des te sterker trekken zij elkander aan, des te volmaakter is bij gevolg ook hare wederzijdsche binding. Wanneer echter de beide geleiders slechts door eene luchtlaag gescheiden zijn, kan de binding niet zeer volmaakt wezen, omdat men ze niet zeer digt bij elkander kan brengen, zonder dat de luchtlaag doorgebroken wordt en er eene vonk overspringt. Indien dus de binding zoo volmaakt mogelijk zijn zal, moeten de beide met tegenovergestelde electriciteiten geladene geleiders niet door lucht, maar door eenen anderen isolator gescheiden zijn, die aan den overgang der electriciteit eenen grooteren tegenstand biedt; hiertoe verkiest men het beste glas of hars.

Tot nader onderzoek van de eigenschappen der gebondene

electriciteit, is de *Franklinsche plaat* bijzonder geschikt. In Fig. 372 is eene glazen plaat afgebeeld, wier zijden ongeveer 1 voet lang zijn. In het midden is de glazen plaat aan elke zijde met bladtin bekleed, in dier voege dat het glas aan den rand ongeveer eene hand breed vrij blijft. Ten einde de niet bekleede plaatsen van het glas beter isolerend te maken, kan men dezelve met vernis bestrijken. Indien men nu het voorste bekleedsel met positieve, het achterste met negatieve electriciteit laadt, zijn de beide tegenovergestelde electriciteiten zeer digt bij elkander; zij zijn slechts door de dikte der glazen plaat gescheiden, door welke zij evenwel niet kunnen heendringen: dien ten gevolge zal bij dezen toestel de binding vrij volkomen plaats hebben.

Fig. 372.



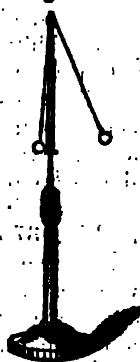
Om de beide bekleedsels der Franklinsche plaat met de tegenovergestelde electriciteiten te laden, behoeft elk niet afzonderlijk met een geëlectriseerd ligchaam in verbinding gebragt te worden. Indien men een der bekleedsels, b. v. het voorste, met den conductor eener electriseermachine in geleidende gemeenschap stelt, zal een gedeelte der + *E* van den conductor op het bekleedsel overgaan. De electriciteit, welke zich op het voorste bekleedbevindt, werkt verdeelend op de verbondene electriciteiten van het achterste; en zoodra men dit laatst genoemde met den grond in geleidende verbinding brengt, vloeit de + *E* in den grond over, en de — *E* verspreidt zich op het achterste bekleedsel. De — *E*, die op het achterste bekleedsel aanwezig is, werkt echter bindend op de + E van het voorste, en daardoor wordt het mogelijk, dat van den conductor op nieuw electriciteit op het voorste bekleedsel overgaat, die insgelijks door haar verdeelend vermogen weder de — *E* van het achterste vermeerdert. Op die wijze kan men gemakkelijk het eene bekleedsel met + *E*, het andere met — *E* laden.

Hoe gering ook de afstand tusschen beide bekleedsels zijn moge, is evenwel de wederzijdsche binding niet volmaakt. Ten einde op de eene zijde de *E* volmaakt gebonden zij, moet er op de andere zijde een overschot van electriciteit, dus vrije *E* aanwezig zijn. Indien men het eene bekleedsel der geladene Franklinsche plaat, b. v. het achterste, met den vinger aanraakt, terwijl het voorste niet meer met den conductor verbonden is, kan men slechts een weinig *E* afleiden; op het achterste blijft altijd nog eene sterke lading — *E* overig, die volmaakt gebonden is. Ten einde echter die binding volmaakt zij, wordt noodzakelijk vereischt, dat op de andere zijde een overschot van + *E* aanwezig is. Dat zulks in der daad plaats heeft, hiervan kan men zich gemakkelijk overtuigen. Na alle

niet gebondene — E van het achterste bekleedsel afgeleid te hebben, rake men het voorste bekleeesel aan, alsdan zal, wanneer men den vinger er digt bij brengt, eene zwakke vonk overspringen, een bewijs dat hier vrije electriciteit aanwezig was. Indien men op die wijze alle vrije $+ E$ van het voorste bekleedsel heeft weggenomen, is thans op de andere zijde wederom vrije $— E$, en nu kan men uit het achterste bekleedsel eene zwakke vonk trekken, enz.

Dit overschot van electriciteit, hetwelk op het eene bekleedsel aanwezig zijn moet om op het andere de tegenovergestelde E volkomen te binden, kan ook voor het oog aanschouwelijk gemaakt worden. Met een weinig was bevestige men aan elke zijde der plaat eenen ligten electrischen slinger in dier voege als in Fig. 373 voorgesteld is, waar de plaat in doorsnede vertoond wordt. Aan die zijde, waarop vrije electriciteit aanwezig is, wordt de slinger afgestooten, terwijl die aan de andere zijde regt naar beneden hangt en het bekleedsel blijft aanraken. Indien men de zijde, op welke zich vrije electriciteit bevindt aanraakt, dan zakt de slinger en die aan de andere zijde gaat in de hoogte. Op die wijze kan men door dan de eene dan weder de andere zijde aan te raken, beurtelings de slingers in de hoogte doen gaan.

Fig. 373.



De verklaring van dit verschijnsel is gemakkelijk. Indien op de eene zijde een overschot van $+ E$ is, werkt hetzelve aantrekkend, zoo wel op de E van het andere bekleedsel als op de weinige electriciteit, die welligt nog in het balletje des slingers aanwezig is. De $— E$ van het achterste bekleedsel werkt wel is waar afstootend op de $— E$ in het balletje aanwezig, doch de kracht, waarmede het overschot der $+ E$ het negatieve balletje aantrekt, is grooter dan de kracht van afstooting. Indien men echter de overgeschotene $+ E$ afleidt, dan verspreidt de vrij gewordene $— E$ zich gedeeltelijk over het balletje, hetwelk nu afgestooten wordt, omdat op de andere zijde thans geen overschot van $+ E$ meer aanwezig is, waardoor het zou kunnen terug gehouden worden.

Door beurtelings nu het eene, dan het andere bekleedsel met den vinger aan te raken, en op die wijze altijd de vrije electriciteit op de eene zijde weg te nemen, wordt allengs de toestel geheel ontladen. Indien men echter de beide bekleedsels te gelijk aanraakt, of dezelve op eenige andere wijze onderling in geleidende verbinding stelt, heeft de ontlading op eens plaats, doordien de opgehoopte tegenovergestelde electriciteiten der beide bekleedsels langs dien weg tot elkander overgaan. Hiertoe bezigt men gewoonlijk de in Fig. 374 afge-

Fig. 374.



beelde *ontlaadtang*. Deze bestaat uit twee gebogene staven van geel koper, *b c* en *b' c*, die bij *c* door een scharnier verbonden zijn. Elke arm der ontlaadtang eindigt in eenen geelkoperen bol (*b* en *b'*) en is daarenboven van een geïsoleerd handvatsel (*m* en *m'*) voorzien. Met den eenen bol raakt men een der bekleedsels aan en brengt den anderen in de nabijheid van het bekleedsel aan de tegenovergestelde zijde. Reeds op eenigen afstand springt er met een helder licht en eenen luiden slag eene vonk over.

25 **De leidsche flesch** is eigenlijk slechts eene veranderde vorm der *Franklinsche* plaat. Zij bestaat uit eene glazen flesch, die van buiten met bladtin bekleed is, welk bekleedsel van boven eenige duimen van den rand verwijderd blijft. Van binnen is de flesch ingelijks van een bekleedsel voorzien of met eene geleidende zelfstandigheid, b. v. ijzervijlsel of hagelkorrels, gevuld. Het inwendige bekleedsel staat in verbinding met eene staaf van geel koper, die door den stop of het deksel der flesch gaat en in eenen knop eindigt. In Fig. 375 en 376 zijn twee verschillende vormen der leidsche flesch voorgesteld. Het niet bekleede gedeelte der flesch moet met vernis bestreken worden. Ten einde de flesch te laden, brengt men het uitwendige bekleedsel met den grond, en den knop met den conductor der machine in geleidende verbinding. Men kan echter ook omgekeerd het inwendige bekleedsel met den grond en het uitwendige met den conductor der machine verbinden.

Fig. 375.



Fig. 376.



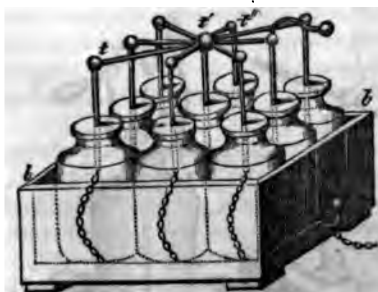
Somwijlen ontladen de leidsche fleschen zich van zelve, doordien of eene vonk van het uitwendige bekleedsel naar de metaalstaaf overspringt, of doordien het glas doorgebroken wordt. In het laatste geval is de flesch natuurlijk voor het vervolg onbruikbaar.

Indien men tot ontlading der flesch meerdere geleiders te gelijk bezigt, dan kiest de electriciteit altijd den besten. Drukt men b. v. met de eene hand eenen metalen draad tegen het uitwendige bekleedsel, dan kan men, zonder letsel te ondervinden, met de andere hand het andere einde van den draad tegen den knop houden; de ontladingsslag gaat door het metaal en niet door het ligchaam; evenwel mag de draad niet te dun zijn.

Ten einde zeer sterke ladingen te verkrijgen, moet men zoo groote fleschen als mogelijk gebruiken, of men moet meerdere fleschen tot eene *electrische batterij* verbinden. In Fig. 377 is dusdanige batterij voorgesteld. Alle uitwendige bekleedsels staan met elkander in geleidende gemeenschap, insgelijks alle inwendige.

Wanneer de ontladingsslag eener leidsche flesch door het menschelijk ligchaam gaat, veroorzaakt dezelve op het gevoel eene eigendommelijke, moeijelijk te beschrijven gewaarwording, eene onwillekeurige zenuwtrekking. Deze proef kan het beste genomen worden door met de eene hand het uitwendige bekleedsel, met de andere den knop aan te vatten. Bij zwakke ladingen voelt men den schok slechts in de voorarmen, bij sterkere ook in de bovenarmen, en indien de lading nog sterker gemaakt wordt, veroorzaakt de schok eene hevige pijn in de borst. Zeer sterke schokken kunnen wezentlijk gevaarlijk worden. Om kleine dieren, zoo als vogels, hazen, enz. door den electrischen schok te dooden, heeft men niet eens groote batterijen noodig, daar men met deze zelfs nog grootere dieren dooden kan. Bij het ontleedkundig onderzoek van dieren, welke door eenen electrischen schok gedood waren, heeft men tot heden nog geene kwetsing der organen kunnen ontdekken; uit de trekkingen echter, welke bij hen plaats vinden, indien de schok niet geheel voldoende was om hen te dooden, kan men oordeelen, hoe hevig het geheele zenuwstelsel aangetast is.

Fig. 377.



Indien meerdere personen eene keten daarstellen door elkander de hand te geven, en de eerste het uitwendige bekleedsel der flesch, de laatste den knop aanvat, voelen allen den schok te gelijker tijd.

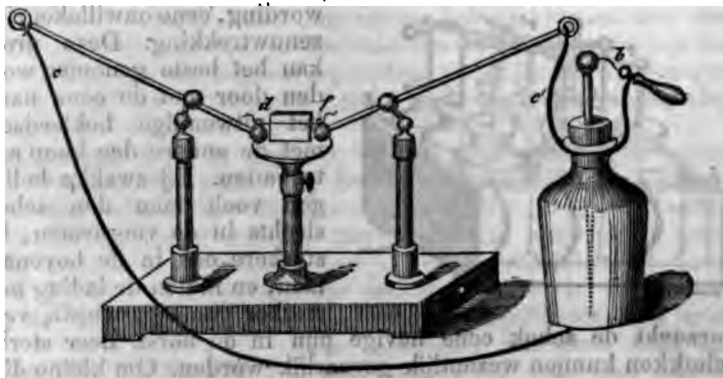
Ontvlambare vloeistoffen kan men met behulp der leidsche flesch veel zekerder ontsteken dan met de regtstreeksche vonk van den conductor der machine. Zelfs tot poeder gebragte hars, welke men op boomwol strooit, en buskruid kan men door de ontladingsvonk der leidsche flesch aansteken.

Tot zeer vele proeven, welke men met den ontladingsslag der leidsche flesch en de electrische batterij doen kan, is de *algemeene ontlader van* HENLEY, die in Fig. 378 voorgesteld is, bij uitstek geschikt. De eene arm is door de ketting *c* in geleidende verbinding met het uitwendige bekleedsel, aan den anderen is eene ketting *a* bevestigd, die in den geïsoleerden bol *b* eindigt. Indien men de vonk ergens door wil laten gaan, neemt men het isolerend handvat van den bol *b* en brengt denzelven schielijk tot den knop der flesch. De vonk springt bij *b* en tusschen de beide bollen *d* en *f*, die op een isolerend tafeltje liggen, over.

Indien men de bollen *d* en *f* door een zeer dun ijzerdraad verbindt, wordt dit, indien eene zwakke lading er door

gaat, verwarmd; eene sterkere lading maakt hetzelve rood gloeijend en eene nog sterkere bewerkt, dat het in afzonderlijke gesmoltene bolletjes uit een springt, die ver in 't rond verspreid worden.

Fig. 378.



Slechte geleiders, welke den loop van den ontladingsslag afbreken, worden, indien de ophooping der electriciteit aanmerkelijk genoeg is, verbrijzeld of doorboord. Eene houten schijf b. v., die 3 tot 4 duim diameter heeft en 3 tot 5 lijnen dik is, wordt door den ontladingsslag doorboord. Insgelijks een of meerdere kaartenbladen, bordpapier, enz. Om dusdanige proeven te doen, plaatst men het ligchaam, hetwelk doorboord moet worden, tusschen de bollen van den ontlader van HENLEY, en wel in dier voege, dat die bollen het tusschen dezelve geplaatste ligchaam aanraken.

26 **De condensator.** Eigenlijk is elke toestel, in welken gebondene electriciteit opgehoopt wordt, een condensator, bij gevolg ook de Franklinsche plaat en de leidsche flesch. Men bezigt echter dien naam slechts voor zoodanige toestellen, welke dienen om electriciteit van zeer geringe intensiteit door verdikking waarneembaar te maken. De hoofdbestanddeelen van alle condensators zijn twee geleidende platen, die door eene laag van niet geleidende zelfstandigheid van elkander gescheiden zijn. De meer onvolmaakte werktuigen van dit soort daarlatende, zullen wij hier slechts spreken over den condensator, die in verband met den goudblad-electrometer gebezigd wordt. Op den goudblad-electrometer schroeft men eene metalen plaat, zoo als in Fig. 379 afgebeeld is. Deze plaat is zoo glad mogelijk geslepen, en hare bovenste vlakte is met eene zeer dunne laag vernis bestreken. Dit vernis, verkregen door schellak in wijngeest op te lossen, wordt wanneer het nog zeer vloeibaar is, met een penseel er over gestreken en droogt dan zeer spoedig. Alsdan plaatst men eene tweede op dezelfde wijze gereed gemaakte plaat,

die van eenen isolerenden steel voorzien is, met hare geverniste vlakte op de eerste, zoo dat de beide metalen platen slechts door de dunne vernislaag gescheiden zijn, voor 't overige echter zoo volmaakt als slechts mogelijk is op elkander passen. Deze inrigting komt volmaakt met de Franklinsche plaat overeen; de glazen plaat is door de dunne vernislaag vervangen, de platen dienen als bekleedsels: het onderscheid echter bestaat daarin, dat men hier de bovenste plaat naar verkiezing kan opheffen, terwijl de beide bekleedsels der Franklinsche plaat vast zijn. Omdat de isolerende laag buitengemeen dun is, en bij gevolg de platen zeer digt bij elkander zijn, kan hier eene volmaakte binding plaats grijpen. Indien men de onderste plaat van den condensator met eene zwak werkende electriseermachine in gemeenschap stelt, terwijl men de bovenste afleidend met den vinger aanraakt, wordt de condensator volmaakt op dezelfde wijze geladen als de leidsche flesch, wier uitwendig bekleedsel niet geïsoleerd is, terwijl het inwendige met den conductor der machine in verbinding staat. Het onderscheid is enkel en alleen daarin gelegen, dat men in het eene geval eene electriciteitsbron van groote, in het andere eene van mindere electrische intensiteit heeft; in beide gevallen evenwel heeft er op dezelfde wijze eene verdikking van *E* plaats.

Fig. 379.



Wanneer de condensator geladen is, wordt de bovenste plaat weggenomen, en wel zoo veel mogelijk vertikaal, om de aanraking van beide platen op alle punten in denzelfden oogenblik te doen eindigen. Door die wegneming wordt de tot zoo lang gebondene *E* der onderste plaat vrij, zij deelt in de goudblaadjes en veroorzaakt hunne uiteenspreiding. Later, bij de behandeling van het galvanismus, zullen wij talrijke toepassingen van dien condensator leeren kennen.

Over het electrische licht en de bewegingen van geëlectriseerde ligchamen.

27 Zoo lang het electrische evenwigt niet verbroken is en de electrische vloeistoffen in rust zijn, vertoonen de sterkste electrische ladingen, die op een ligchaam opgehoopt zijn, nimmer eenig, zelfs niet het minste, schijnsel van licht. De eerste voorwaarde tot vertooning van het electrische licht is bij gevolg beweging der vloeistoffen en verbreking van het evenwigt. Die voorwaarde is altijd noodzakelijk, doch geenszins voldoende; buitendien namelijk wordt nog vereischt, dat de spanning, die eene voorwaarde tot de electrische uitstrooming is, groot genoeg zij. Terwijl b. v. de electriciteit eener minder sterk werkende machine langs eenen metalen draad in den grond overstroomen kan, zonder dat men in het duister eenig licht bespeurt; ziet men daarentegen, indien men sterk werkende machines gebruikt den draad van een helder schijnsel omgeven. De spanning, welke tot het te voorschijn brengen van electrisch licht vereischt wordt, is afhankelijk van den toestand, de gedaante en het geleidend vermogen der middenstoffen, door welke de electriciteit zich bewegen moet. Somtijds geven zeer zwakke spanningen een helder licht; in andere gevallen zijn wederom de sterkste spanningen niet voldoende om het minste schijnsel van licht te veroorzaken.

28 **Het electrische licht in de lucht en in andere gasen onder de drukking der dampkringslucht.** De afstand, op welken men uit een geëlectriseerd ligchaam eene vonk trekken kan, is afhankelijk van het geleidend vermogen der zelfstandigheid, van de uitgebreidheid harer oppervlakte en van de sterkte der electrische lading. Uit hoekige ligchamen en uit punten stroomt, reeds bij zeer geringe spanning, de electriciteit van zelve weg, en men ontwaart, wanneer het duister is, hierbij schitterende lichtbundels, die dikwerf meerdere duimen lang zijn. Bij ronde ligchamen worden reeds zeer sterke ladingen vereischt, wanneer er van zelf vonken zullen overspringen; indien men echter tot dezelve eenen met den grond in verband staanden geleider nadert, springen er, naar omstandigheden zelfs reeds op groote afstanden vonken over, die alsdan eene met den bliksem overeenkomende zigzag daarstellen.

Ter vermenigvuldiging van de vonk, moet men den geleider, door welken de electriciteit in den grond overstroomt, dikwerf afbreken; hierop berusten vele vermakelijkheden.

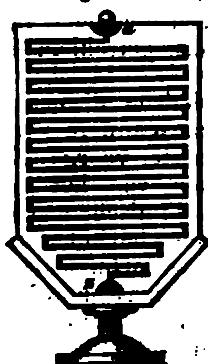
Van *metalen parelen* of *koralen*, die aan eenen zijden draad in diervoege geregen zijn, dat elke parel of koraal door knoopen eenige strepen van de volgende verwijderd is, kan men letters, geheele namen en allerlei figuren daarstellen, welke zoo lang licht geven als de machine gedraaid wordt, van wier conductor de electriciteit door de ketting in den grond stroomt.

Flikkerbuizen zijn glazen buizen, op welke ruitvormige blaadjes bladtin in diervoege geplakt zijn, dat derzelver naar elkander gekeerde punten ten naastenbij op eenen afstand staan als in Fig. 380 voorgesteld is. Gewoonlijk kleeft men ze er zóó op, dat zij eene om de buis heen loopende schroeflijn vormen. Indien men het eene einde van dusdanige buis in de hand houdende, het andere aan den conductor der machine brengt, terwijl deze gedraaid wordt, ziet men in het duister aanhoudend tusschen elke twee ruiten vonken overspringen, zoo dat eene bijkans aaneengeschakelde lichtstreep zich op de buis vertoont.

Fig. 380.



Fig. 381.



In Fig. 381 is eene *flikkerplaat* voorgesteld. Op eene glazen plaat is eene rij reepen bladtin gekleefd, zoo als in de afbeelding te zien is, in diervoege dat er van *a* tot *s* eene metalen geleiding zoude bestaan, indien deze niet op de met × aangeduide plaatsen afgebroken werd. Indien men nu *s* in gemeenschap stelt met het uitwendige bekleedsel eener leidsche flesch, en vervolgens eene geleidende verbinding tusschen *a* en den knop der flesch daarstelt, springen gelijktijdig op de plaatsen, waar het bladtin afgebroken is, vonken over. Op die wijze kan men namen en allerlei figuren daarstellen.

Men kan deze vermakelijkheden op velerlei wijze afwisselen: doch deze voorbeelden zullen voldoende zijn.

Indien men op den conductor der electriseermachine eene punt plaatst, van welke de electriciteit uitstroomt, neemt men eenen lichtbundel waar zoo als dezelve in Fig. 382 is afgebeeld. De negatieve (harsachtige) electriciteit geeft nimmer zoo groote en zoo uiteengespreide lichtbundels als de positieve. Dit merkwaardige verschijnsel verdient ten hoogste onze aandacht, omdat het een onderscheidend karakter der beide electriciteiten schijnt op te leveren.

Fig. 382.



Wanneer men eene metalen punt in de hand houdt en dezelve tot den conductor nadert, neemt men ook eenen lichtbundel waar.

In verdikte dampkringslucht is de vonk eener electriseermachine zeer levendig, in koolstofzuur-gas wit en sterk, in waterstof-gas rood en zwak; in waterdamp geel, in alcohol en etherdamp appelgroen.

De lichtverschijnsels der door de machine opgewekte electriciteit zijn eene getrouwe, hoezeer slechts zwakke nabootsing der electrische luchtverschijnsels, die men bij onweders waarneemt.

29 **Electrisch licht in verdunde luchtruimte.** Wanneer eene aan beide einden met metalen stoppen of bussen voorziene glazen buis, die eenige voeten lang is, luchtledig gemaakt wordt en men het eene einde met den conductor der machine, het andere met den grond in gemeenschap stelt, ontwaart men binnen in dezelve een helder licht. Doordien de electriciteit in de verdunde lucht slechts eenen geringen tegenstand ontmoet, verspreidt zij zich in de geheele buis en kenmerkt den weg, dien zij aflegt, door lichtstrepen. Indien de gemeenschap behoorlijk onderhouden wordt, vertoont het licht zich aanhoudend en gelijkvormig; doch indien men van buiten een geleidend ligchaam nadert, wordt het licht naar dien kant getrokken en wordt het tevens helderder.

Tot deze proef bezigt men gewoonlijk regte buizen, die eenige duimen wijd zijn. In Fig. 383 is eene eenigzins andere vorm van dien toestel voorgesteld. De gedaante van het glas namelijk is elliptisch; aan de beide uiteinden bevinden zich metalen stoppen of bussen, van welke die aan het eene einde der buis voorzien is van eene kraan, door middel waarvan zij op eene luchtpomp geschroefd kan worden. De bus van het andere einde heeft een lederen binnen-bekleedsel, door hetwelk de in den knop *b'* eindigende geel koperen draad gaat, zoo dat men den knop *b'* naar goedvinden nader bij den knop *b* brengen kan. Wanneer de toestel zoo luchtledig als mogelijk gemaakt is, stroomt de electriciteit gemakkelijk over en vult het geheele glas met licht. Indien men door de kraan een weinig lucht naar binnen laat, verspreidt het licht zich minder, en vormt tusschen *b* en *b'* bogen van een purperkleurig licht. Hoe meer lucht men naar binnen laat stroomen, des te kleiner wordt de uitgebreidheid van het lichtverschijnsel; het verkrijgt hoe langer hoe meer de gedaante der gewone electrische vonk. Door de luchtledige buis van Toricelli stroomt de electriciteit insgelijks onder vertooning van licht.

Fig. 383.

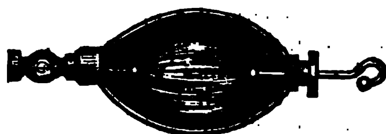


Fig. 384.



Picard nam het eerst waar, dat een barometer in het duister licht, wanneer het kwik in denzelven op en neêr gaat, en weldra overtuigde men zich, dat dit verschijnsel door de wrijving van het kwik aan de wanden der buis ontstaat. Ter waarneming van het electrische licht in het Toricellische luchtledig vervaardigde *Cavendish* den in Fig. 384 voorgestelden dubbelen barometer, welks gebruik ook zonder verdere verklaring wel zal begrepen worden.

Bewegingen, die door het uitstroomen van electriciteit veroorzaakt worden. Over de verschijnselen van aantrekking en afstooting is reeds gehandeld, thans moeten wij nog slechts eenige andere bewegingen, welke door de electriciteit veroorzaakt worden beschouwen. Op eene geleidende punt *cp* (zie Fig. 385), die met den conductor der machine in geleidende gemeenschap staat, plaatst men een puntig metalen staafje *t t'*, hetwelk aan beide uiteinden in tegengestelde rigtingen omgebogen is, in dier voege, dat het in evenwigt ligt, doch gemakkelijk in een horizontaal vlak op de punt kan omgedraaid worden. Zoodanige toestel wordt een *electrische windvleugel* genoemd. Zoodra de machine gedraaid wordt, begint de windvleugel in de rondte te draaijen, en indien men denzelven in het duister gadeslaat, ziet men aan de punten de electriciteit als lichtbundels er uitstroomen. 30

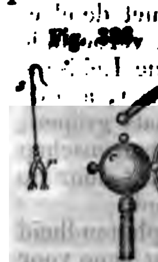
Fig. 385.



Deze beweging wordt door het uitstroomen der electrische vloeistof uit de punten veroorzaakt, en is een verschijnsel hetwelk volmaakt met de omdraaijing van het waterrad van [illegible] overeenkomt.

Bewegingen door den electrischen keer- of terugslag. De achterpooten van eenen kikvorsch, die, zoo als Fig. 386 te zien is, in de nabijheid van den conductor eener electrische machine opgehangen zijn, schijnen in 't geheel geene veranderingen te ondergaan, wanneer door de machine te draaijen de conductor *c* met $+E$ geladen wordt. Evenwel worden de pooten door verdeeling electrisch; de aangetrokkene E verzamelt zich bij *r*, de afgestootene $+E$ ontwijkt door den draad *s* in den grond. Zoodra men nu eene vonk uit den conductor *c* trekt, veroorzaakt de plotseling plaatsgrijpende hereeniging der electriciteiten trekkingen in de pooten van den kikvorsch, een bewijs dat, bij het terugkeeren der electriciteit tot den natuurlijken toestand, de moleculen der ligchamen door de drukking der electrische vloeistoffen, die zich weder pogen te vereenigen, aangedaan worden. Deze uitwerkselen worden met den naam van keer- of terugslag bestempeld. Vruchteloos zoude men deze proef nemen met eenen kikvorsch, die reeds 5 à 6 uren dood was; zeer goed gelukt dezelve echter met eenen pas gedooden en nog beter met eenen levenden. 31

Fig. 386.



In de nabijheid eener sterk werkende machine, gevoelt een mensch, die met den grond in geleidende gemeenschap staat, insgelijks soortgelijke schokken. Dezelfde uitwerkselen hebben de ontladingen der onweêrswolken; zij kunnen namelijk door eenen regtstreekschen slag en door den terugslag werken.

DERDE AFDEELING.

OVER HET GALVANISMUS.

EERSTE HOOFDSTUK.

Over de electriciteit door aanraking en de galvanische keten.

32 In het jaar 1789 deed GALVANI te *Bologna* eene ontdekking, waardoor een geheel nieuw veld voor de Natuurkunde geopend werd. Deze ontdekking bestond in de schijnbaar onbelangrijke daadzaak, dat achterpooten van kikvorschen, die versch tot het doen van een of ander onderzoek gereed gemaakt en door koperen haakjes aan een ijzeren hekwerk opgehangen waren, trekkingen ondergingen, zoo dikwerf derzelver spieren door den wind met het ijzer in aanraking gebragt werden. Het koperen haakje was in aanraking met de zenuwen der pooten.

In den beginne geloofde men dit verschijnsel door eene soort van zenuw-vloeistof te kunnen verklaren, welke met de electrische vloeistof overeenkomst zoude hebben. Men verbeeldde zich het bewerktuigde ligchaam ten naastenbij als eene Leidsche flesch, wier bekleedsels aan de eene zijde de zenuwen, aan de andere de spieren zijn. Eene ontlading zoude plaats grijpen, zoodra zenuwen en spieren in eene geleidende gemeenschap gebragt worden, hetgeen bij de proef van GALVANI door de koperen haakjes en het ijzeren hekwerk plaats vond.

ALEXANDER VOLTA herhaalde met onvermoeide oplettendheid de proeven van GALVANI, en ontdekte weldra, dat eene voor het wel slagen der proef zeer belangrijke omstandigheid tot dus ver geheel over het hoofd gezien was. Ten einde namelijk eene sterke werking te verkrijgen, is het een volstrekt vereischte, dat de boog van geleiding, welke de zenuwen en de spieren verbindt, uit twee verschillende metalen bestaat, die onderling in aanraking zijn. Hij bewerkstelligde de proef in diervoege als in Fig. 387 is voorgesteld. Een gedeelte, *z*, van den geleidingsboog is zink, het andere, *k*, is koper. Beide metalen moeten op de plaats, waar zij elkander aanraken, en insgelijks daar, waar zij den poot aanraken, eene volmaakt zuivere metaaloppervlakte hebben. VOLTA leidde uit zijne proeven af, dat de pooten van den kikvorsch niet

Fig. 387.



als eene Leidsche flesch moeten beschouwd worden; dat de hier werkzame vloeistof noch in de zenuwen, noch in de spieren, maar door de aanraking der beide metalen ontwikkeld wordt, en dat zij met de gewone electrische vloeistof volmaakt identisch is. De beschouwingswijze van VOLTA werd door GALVANI en deszelfs aanhangers bestreden; ten laatste echter werd de meening van VOLTA algemeen als de juiste aangenomen.

Regtstreeksche bewijzen voor de ontwikkeling van electriciteit door 33
aanraking. Het denkbeeld dat door enkele aanraking van ongelijksoortige ligchamen electriciteit ontwikkeld wordt, vond slechts langzamerhand ingang; de gestrengheid der wetenschap vorderde regtstreeksche en afdoende bewijzen, welke VOLTA ook weldra leverde. Hij deed zulks met behulp van eenen toestel, dien hij zelf eerst eenige jaren te voren uitgevonden had, namelijk van den condensator, dien wij reeds vroeger (§. 26) hebben leeren kennen.

De proef wordt op de volgende wijze bewerkstelligd. Na zich overtuigd te hebben, dat de op den goudbladelectrometer, Fig. 388, geschroefde condensator zijne lading goed houdt, en na denzelven weder in zijnen natuurlijken toestand gebragt te hebben, stelt men door aanraking met den vinger de bovenste plaat met den grond in gemeenschap, terwijl men de onderste met een stuk zink aanraakt, hetwelk, doordien men het in de andere hand houdt, insgelijks met den grond in geleidende verbinding staat. Het spreekt van zelf, dat de oppervlakten der platen van den condensator dáár, waar zij elkander niet aanraken, niet gevernist mogen zijn, want anders ware immers geene aanraking van metalen mogelijk tusschen zink en het gele koper (hetwelk bijkans volmaakt als zuiver koper gesteld is) der eene plaat van den condensator. Indien men nu, nadat de aanraking slechts eenen oogenblik geduurd heeft, den vinger van de bovenste, het zink van de onderste plaat terug trekt, en vervolgens de bovenste plaat van den condensator opligt, verkrijgt men eene aanmerkelijke uiteenspreiding der goudblaadjes. Van waar ontstaat die electriciteit? Zij kan klaarblijkelijk slechts door de aanraking van het zink en het koper der onderste plaat van den condensator ontstaan. Dáár is eene bijzondere kracht werkzaam om de electrische vloeistoffen te scheiden en in beweging te brengen. De positieve electriciteit gaat op het zink en van daar in den grond over; de negatieve daarentegen wordt naar de onderste geelkoperen of koperen plaat van den condensator gedreven en op dezelve gebonden, doordien zij ontledend op de bovenste plaat werkt. Indien men nu de

Fig. 388.



bovenste plaat wegneemt, kan de in de onderste plaat gebondene — *E* zich vrij verspreiden en de uiteenwijking der goudblaadjes bewerken.

Indien men de proef in dier voege herhaalt, dat men de bovenste plaat van den condensator met het zink, de onderste met den vinger aanraakt, wijken de goudblaadjes met positieve electriciteit uiteen.

Nog beter kan de ontwikkeling van electriciteit door aanraking van ongelijksoortige metalen bewezen worden met behulp van den electroscoop van BOHNENBERGER. Volgens de opgave van FECHNER is de geschiktste gedaante van genoemd werktuig de volgende.

In eene horizontale glazen buis (Fig. 389) bevindt zich eene zoogenaamde *drooge* of *Zambonische* kolom, wier eigenschappen wij spoedig nader zullen leeren kennen. Aan de uiteinden is de glazen buis met metalen bussen gesloten, van welke de metalen draden *e* en *f* uitgaan, die in de platen *x* en *y* eindigen. De *Zambonische* kolommen nu bezitten de eigenschap, dat een van derzelver uiteinden steeds positief, het andere negatief electrisch is; daardoor blijft dan ook de eene der beide platen, b. v. *x*, steeds met negatieve, de andere steeds met positieve electriciteit geladen.

Fig. 389.



Eene op die wijze ingevatte *Zambonische* kolom nu is in een houten kastje (Fig. 390) bevestigd, in welks bovenste deksel zich eene opening bevindt, om de poolplaten *x* en *y* door te laten.

Fig. 390.



Verbeelden wij ons nu, dat juist in het midden tusschen de beide poolplaten een goudblaadje hangt, dan zal dit, daar het door beide polen even sterk wordt aangetrokken, onbewegelijk in het midden blijven hangen. Indien men aan hetzelve echter eene slechts zeer zwakke positieve lading mededeelt, begeeft het zich naar de negatieve poolplaat, daarentegen gaat het goudblaadje naar de positieve poolplaat, indien het met negatieve electriciteit geladen wordt.

Dusdanig goudblaadje nu hangt inderdaad tusschen de beide poolplaten. Hetzelve is aan een metalen staafje bevestigd, hetwelk, doordien het in eene glazen buis steekt, volmaakt op dezelfde wijze geïsoleerd is, als de staaf, waaraan de slingers van den electrometer (Fig. 388) hangen. Ook hier is het goudblaadje in een glas geplaatst, opdat de luchtstroomingen er geenen verstorenden invloed op zouden uitoefenen.

Op het bovenste einde der metalen staaf, die het goudblaadje draagt, kunnen metalen platen geschroefd worden. Veronderstellen wij, dat men eene volmaakt effen geslepene koperen plaat met eene zuiver metalen oppervlakte er opgeschroefd heeft; plaatst men nu op die koperen plaat eene volmaakt gladde zinkplaat met eene zuiver metalen oppervlakte, alsdan zal eene afwijking volgen, zoodra men de zinkplaat weder van de koperen plaat afneemt, en wel toont deze afwijking aan, dat de koperen plaat negatief electrisch is.

Indien men eene zinkplaat op het werktuig had geschroefd, dan zoude, na het wegnemen der koperen plaat, eene afwijking naar de negatieve poolplaat gevolgd zijn, omdat het zink door aanraking met het koper positief electrisch wordt.

Deze proef bewijst derhalve niet alleen, dat zich door aanraking van koper en zink electriciteit ontwikkelt, en wel dat het koper negatief, het zink positief electrisch wordt; maar ook, dat de grootste hoeveelheid der ontwikkelde electriciteit aan de plaats waar beide metalen elkander aanraken, gebonden blijft; dat slechts een in verhouding klein gedeelte zich vrij over de metalen platen verspreidt: want de afwijking volgt immers eerst bij het wegnemen der andere plaat.

Eene zoodanige opwekking van electriciteit nu heeft bijna overal plaats, waar ongelijksoortige zelfstandigheden elkander aanraken: bij metalen echter kan zij het bepaaldst aangewezen worden. De onbekende oorzaak dier ontwikkeling van electriciteit door aanraking van ongelijksoortige ligchamen, draagt den naam van *electromotorische kracht*.

De spannings-reeks. De electrische spanningen, die door de electromotorische kracht ontwikkeld en op de elkander aanrakende ligchamen verspreid worden, zijn voor alle zelfstandigheden niet dezelfde. De metalen zijn goede *electromotoren;* evenwel ontwaart men in dit opzigt een groot verschil tusschen dezelve. Zink b.v., wanneer het in aanraking is met platina, wordt sterker positief electrisch, dan in aanraking zijnde met koper: koper in aanraking met zink, wordt negatief, in aanraking met platina positief electrisch. Volgende tafel behelst eene reeks van ligchamen, die zoo gerangschikt zijn, dat elk der voorafgaande, in aanraking met alle volgende, positief electrisch wordt. 34

+
Zink
Lood
Tin
IJzer
Koper
Zilver
Goud
Platina
Kool.
—

De som van het electrisch verschil tusschen zink en koper en dat tusschen koper en platina is gelijk aan het electrisch verschil tusschen zink en platina, d. i. indien men op eene zinkplaat eene koperen plaat en op deze eene platina-plaat legt, zijn de electrische spanningen der eindplaten juist zoo groot, als of men de platinaplaat en de zinkplaat onmiddellijk op elkander gelegd had.

Alle ligchamen der bovenstaande reeks hebben dezelfde verhouding; want indien men drie metalen op elkander stapelt, dan is de electrische spanning der eindplaten altijd dezelfde, als of zij elkander onmiddellijk aanraakten en de tusschenplaten ontbraken.

Hetzelfde heeft ook plaats bij vier, vijf en onverschillig welk aantal metalen platen, die men op elkander stapelt; de spanning der eindplaten is dezelfde, als of alle tusschenplaten ontbraken.

Alle metalen hebben eene bepaalde plaats in de spanningsreeks; kool is in dit opzigt volmaakt als een metaal gesteld, dezelve is nog meer negatief-electrisch dan platina. Ook vele zamengestelde ligchamen nemen eene bepaalde plaats in die reeks in, b. v. bruinsteen, ijzeroxyde, zwavel-ijzer, zwavel-lood enz.; andere zamengestelde ligchamen echter, voornamelijk vloeistoffen, volgen de wetten der spanningsreeks volstrekt niet.

Zoo wordt b. v. zink, wanneer het in aanraking is met zuiver water, negatief-electrisch. Wanneer het water nu in de reeks gevoegd moest worden, zoude men het volgens deszelfs verhouding tot zink, nog boven dit metaal moeten plaatsen. Ware dit wezentlijk de plaats van het water in de reeks, dan moest platina in aanraking zijnde met water veel sterker negatief-electrisch worden dan zink. De ondervinding echter leert het tegendeel; platina wordt, wanneer het in aanraking is met water, veel minder negatief dan zink. Men ziet hieruit dus, dat water een ligchaam is, hetwelk de wetten der reeks niet volgt. Eveneens is het gelegen met verdund zwavelzuur; het maakt zink en koper negatief, doch die negatieve opwekking is bij zink sterker dan bij koper. Platina en goud worden door verdund zwavelzuur positief.

Door die eigendommelijke gesteldheid van vele vloeistoffen, dat zij namelijk in de spanningsreeks niet voegen, wordt het mogelijk, dat men door opstapeling van metalen platen in vochtige geleiders, eene sterkere electrische spanning te weeg brengen kan, dan die is, welke door twee elkander onmiddellijk aanrakende metaalplaten opgewekt wordt, zoo als b. v. bij de kolom van VOLTA het geval is, welke kolom wij thans nader zullen beschrijven.

35 **Zamenstelling der kolom van Volta.** Tot zamenstelling der kolom van VOLTA bezigt men drie verschillende ligchamen, twee metalen en een derde ligchaam, hetwelk geene plaats in de spanningsreeks inneemt.

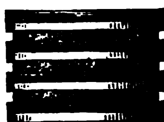
De metalen, die men doorgaans bezigt, zijn *koper* en *zink*, twee ligchamen, die in de reeks zeer ver van elkander verwijderd,

zijn. Zink stelt daar het *positieve*, koper het *negatieve* element. Gewoonlijk zijn eene koperen en eene zinkplaat aan elkander gesoldeerd.

Het derde element der kolom van VOLTA is eene *vochtige schijf*, d. i. eene schijf van bordpapier of laken, die met zuiver water of een zeer verdund zuur of eene oplossing van keukenzout doortrokken is.

Eene koperen plaat, derhalve een negatief element, brenge men door een koperdraad *f*, Fig. 391, met den grond in geleidende gemeenschap en legge op hare bovenste vlakte eene even groote zinkplaat. Door de electromotorische kracht wordt het zink positief, het koper negatief, de vrije electriciteit der koperen plaat echter stroomt in den grond over, terwijl op de zinkplaat vrije electriciteit blijft van eene digtheid, die afhankelijk is van het electrische verschil tusschen koper en zink. Stellen wij deze digtheid als eenheid, dan kunnen wij zeggen, dat onder deze omstandigheden de digtheid der vrije electriciteit op het koper 0 is, terwijl zich over het zink vrije + *E* van de digtheid 1 verspreidt. Indien men door eenig middel aan het zink een gedeelte van deszelfs vrije *E* ontnam, zoo dat hare digtheid minder dan 1 werd, zoude dit verlies, hetwelk de zinkplaat aan + *E* ondergaat, door de electromotorische kracht dadelijk hersteld worden, terwijl eene hoeveelheid — *E*, die volmaakt gelijk is aan de nieuw ontwikkelde en op de zinkplaat overgaande + *E*, op de koperen plaat en van deze op den grond overgaat.

Fig. 391.



Men legge nu eene vochtige schijf op het zink. Indien wij, eenvoudigheidshalve, aannemen, dat zij, in aanraking zijnde met zink, in 't geheel geene electromotorische kracht uit en blotelijk geleider is, dan gaat een gedeelte der vrije + *E* van het zink op de vochtige schijf over. Dit verlies wordt evenwel spoedig weder vergoed, zoo dat de digtheid der vrije + *E* op het zink 1 blijft, en op de vochtige schijf zich insgelijks vrije + *E* van de digtheid 1 verspreidt. Legt men nu op de vochtige schijf wederom eene koperen plaat, alsdan zal ook op deze de + *E* zich verspreiden, en wel zal zij insgelijks dáár dadelijk de digtheid 1 bereiken. Op de onderste koperen plaat heeft men dus de digtheid nul; op de zinkplaat, de vochtige schijf en de bovenste koperen plaat + *E* van de digtheid 1.

Indien men op de bovenste koperen plaat insgelijks eene zinkplaat legt, dan zoude ook deze met vrije + *E* van de digtheid 1 geladen worden, zelfs wanneer hier geene electromotorische kracht werkzaam ware. Doch het electrisch verschil tusschen koper en zink blijft altijd hetzelfde; volgens onze tot dus ver gevolgde veronderstelling is het steeds gelijk 1. Indien derhalve de bovenste koperen plaat reeds + *E* van de digtheid 1 heeft, moet de + *E* der op dezelve gelegde zinkplaat de digtheid 2 hebben.

Op dezelfde wijze kan men verder redeneren. Legt men op het tweede zink-koperpaar nogmaals een vochtig schijfje en op hetzelve weder eene koperen en eene zinkplaat in dezelfde volgorde, zoo dat het koper onder, het zink boven komt, dan zal op deze derde zinkplaat de digtheid der vrije $+ E = 3$ zijn. Gaat men in die zelfde orde voort met opstapelen, d. i. laat men van onderen naar boven opstapelende, de elementen altijd in deze orde: koper, zink, vochtig schijfje op elkander volgen, alsdan zal op de vierde, vijfde . . . honderdste zinkplaat vrije $+ E$ van de digtheid 4, 5 . . . 100 aanwezig zijn.

De pas beschrevene inrigting draagt naar derzelver uitvinder den naam van de *kolom van Volta*. Fig. 392 vertoont eene *Volta'sche* kolom van 20 paar platen. Het voetstuk is van droog hout, de aan de kanten geplaatste staven, die de kolom schragen, zijn van glas.

Het eene uiteinde der kolom, hetwelk met eene zinkplaat eindigt, wordt genoemd het *zink-einde* of de *positieve pool*, het andere daarentegen het *koper-einde* of de *negatieve pool*. In de pas beschrevene zamenstelling was de negatieve pool met den grond in geleidende gemeenschap, de positieve pool geïsoleerd, en op de geheele kolom was $+ E$ verspreidt, welker digtheid volgens onze wijze van beschouwen van onderen naar boven moet toenemen. Indien de negatieve pool geïsoleerd en de positieve met den grond in geleidende gemeenschap gesteld wordt, dan is de digtheid der vrije electriciteit aan het zink-einde nul, terwijl zich over de geheele kolom vrije $- E$ verspreidt, wier digtheid naar het koper-einde heen toeneemt.

36 **De geïsoleerde kolom.** Stellen wij, dat men eene kolom van 100 paren opgestapeld en den negatieven pool met den grond in geleidende gemeenschap gesteld hebbe, en naast deze eene tweede, volmaakt gelijk aan de eerste, wier positieve pool men afleidend aangeraakt heeft. Nu vereenige men de beide kolommen tot eene enkele, in dier voege nogtans, dat door inschuiving van een vochtig schijfje de beide afleidend aangeraakte polen (dus de $+$ pool der eene en de — pool der andere) elkander raken, alsdan heeft men eene enkele kolom van 200 paren, wier helften echter nog volmaakt in denzelfden toestand verkeeren als te voren: bij gevolg bevindt het midden zich in den natuurlijken toestand, zelfs wanneer men de geleidende gemeenschap met den grond weggenomen heeft. De eene helft is positief, de andere negatief geladen, en wel neemt de sterkte der lading naar de polen heen toe. Aan elke pool is de electrische spanning juist zoo groot, als aan de geïsoleerde pool eener kolom van 100 paren, wier andere pool afleidend aangeraakt is. Indien men dit evenwigt verbreekt door van de eene pool een weinig electriciteit weg te nemen, alsdan wordt aldaar de spanning verminderd, aan den anderen pool echter vermeerderd, en het punt der kolom, hetwelk zich in den natuurlijken toestand bevindt, wordt van het midden meer naar die

pool toe verplaatst, aan welke men electriciteit ontnomen heeft. Indien echter de geheele kolom geïsoleerd blijft, herstelt zich van lieverlede de vroegere toestand, d. i. de evenwigts-toestand verplaatst zich langzamerhand weder in het midden, omdat aan de sterker geladene pool voortdurend ook een grooter verlies van electriciteit plaats vindt. In elke volmaakt geisoleerde kolom derhalve, herstelt het evenwigt zich van zelf in dier voege, dat het midden zich in den natuurlijken toestand bevindt, en de beide helften met tegenovergestelde electriciteiten geladen zijn, wier digtheid naar den polen toe van het eene paar platen tot het andere toeneemt.

De gesloten kolom. Vermits de beide polen eener geïsoleerde 37
kolom altijd bronnen van tegenovergestelde electriciteit zijn, is het duidelijk, dat, indien men elke pool van eenen draad voorziet, de draad met de electriciteit der pool, waaraan hij verbonden is, zal geladen worden. Op die wijze heeft men dus eenen positief en eenen negatief geladen conductor. Indien beide conductors met elkander in aanraking gebragt worden, moet er bij gevolg eene *aanhoudende* hereeniging der in de kolom voortdurend ontwikkelde electriciteiten plaats grijpen. Dit nu moet door Fig. 392 aanschouwelijk gemaakt worden. Indien men de beide draden (welke zelve somtijds de beide polen genoemd worden) tot op eenen zeer kleinen afstand bij elkander brengt, ziet men eenen onafgebroken stroom van vonken van den eenen draad naar den anderen overgaan.

Fig. 392.



Indien men de beide geleidingsdraden in onmiddellijke aanraking met elkander brengt, d. i. indien men de keten sluit, houdt de overgang van vonken op; daardoor zijn evenwel niet alle electrische werkingen verbroken. In de kolom wordt aanhoudend electriciteit ontwikkeld, en op alle punten van den sluitingsdraad heeft voortdurend de hereeniging der in de kolom gescheidene electriciteiten plaats. Van buiten derhalve schijnt alles in rust, inwendig echter heerscht voortdurende werkzaamheid en beweging.

Deze electrische stroom is in staat sterke werkingen op de zenuwen te weeg te brengen, metaaldraden gloeijend te maken, de magneetnaald te doen afwijken en chemische ontledingen te bewerkstelligen. Weldra zullen wij deze uitwerkselen nader beschouwen.

De drooge kolom. Bij de drooge kolommen zijn de electromotoren 38
insgelijks metalen zelfstandigheden, maar de geleider, die elke twee paar scheidt, is geene vloeistof, maar eenig vast ligchaam, hetwelk of volmaakt droog of slechts een weinig vochtig is. On-

der de verschillende inrigtingen van die soort, welke achtereenvolgende voorgeslagen zijn, schijnt die van ZAMBONI de grootste werkzaamheid te bezitten. Op een gewoon vel papier, hetwelk juist zóó vochtig is als het bij vochtig weder van zelf wordt, kleeft men met gom of stijfsel op de eene zijde zoogenaamd zilverschuim (zink), terwijl door middel eener kurk op de andere zijde tot fijn poeder gebragte bruinsteen (hyperoxydum manganesii) ingewreven wordt. Meerdere aldus gereed gemaakte vellen papier worden nu op elkander gelegd en met een rond slagijzer van 10 tot 15 lijn diameter ronde schijfjes er uitgeslagen. Door zoodanige schijfjes op elkander te stapelen worden nu kolommen van 1000 tot 2000 paren daargesteld. Hierbij echter moet men wel in acht nemen, dat de schijfjes allen in dezelfde volgorde opgestapeld worden; dat bij gevolg de zinkzijde, hetzij altijd naar onderen, hetzij altijd naar boven gekeerd is. Ten einde de volkomene aanraking der platen-paren te verzekeren, wordt de kolom te zamen geperst, na alvorens aan beide uiteinden genoegzaam sterke metaalplaten met 3 tot 4 uitstekende verlengstukken aangebragt te hebben, die alsdan door zijden koorden verbonden worden. Om de geheele kolom tegen den invloed der lucht te beschermen, overtrekt men dezelve met gesmolten zwavel of met schellak.

Men kan drooge kolommen ook uit zoogenaamd goud- en zilverpapier zamenstellen. Ten dien einde kleeft men altijd een vel zoogenaamd zilverpapier (tin) en een vel zoogenaamd goudpapier (koper) met de papierzijde op elkander, zoo dat men bij gevolg een vel papier heeft, hetwelk op de eene zijde met koper, op de andere met tin overtrokken is. Uit de in dier voege op elkander gekleefde vellen, worden alsdan de schijfjes gesneden.

39 **Eigenschappen der drooge kolom.** Eene *Zambonische* kolom van 2000 paren is nog niet in staat den minsten schok te geven of de geringste chemische ontleding te weeg te brengen; doch hare polen vertoonen eene zeer aanmerkelijke spanning. Reeds eene kolom van 100 tot 200 paren veroorzaakt aan eenen goudblad-electrometer zonder condensator eene uiteenwijking; daartoe behoeft men slechts de eene pool in de hand te houden en met de andere de plaat of den bol van den electrometer aan te raken. Met kolommen van 800 tot 1000 paren verkrijgt men reeds eene zeer aanmerkelijke uiteenwijking. Indien men met de eene pool eener dusdanige kolom het eene bekleedsel eener *Franklinsche* plaat aanraakt, terwijl men de andere pool afleidend aangeraakt heeft, gelukt het somtijds aan de plaat eene zoo sterke lading mede te deelen, dat bij ontlading derzelve zich eene vonk vertoont.

Indien beide polen der kolom geïsoleerd zijn, hoopen de tegenovergestelde electriciteiten zich weldra in gelijke hoeveelheid aan de polen op. De spanning neemt hier toe, tot dat

de hoeveelheid electriciteit, die elke pool in eene gegeven tijdruimte door de lucht verliest, gelijk is aan die hoeveelheid, welke in dat zelfde tijdsverloop door de kolom weder naar de pool gevoerd wordt. Van dien oogenblik af blijft de spanning aan de polen standvastig dezelfde. Indien nu de lucht vochtiger wordt, alsdan beloopt het verlies aan electriciteit aan de polen een' grooteren breuk van alle daar opgehoopte electriciteit te zamen, terwijl niet te min de hoeveelheid electriciteit, die naar de pool gevoerd wordt, dezelfde blijft. Hieruit blijkt dus, dat bij vochtige lucht aan de polen de spanning geringer zijn moet dan bij eene drooge lucht.

Indien men twee *Zambonische* kolommen naast elkander opstapelt, in dier voege dat de positieve pool der eene en de negatieve pool der andere naar boven gekeerd is, alsdan zal een ligte slinger tusschen de beide polen aanhoudend heen en weêr moeten slingeren. Hierop berust het zoogenaamde electrische *perpetuum mobile.*

Een tusschen twee zoodanige *Zambonische* kolommen opgehangen goudblaadje zal naar de eene of de andere pool afwijken, wanneer hetzelve eene slechts zeer zwakke positieve of negatieve lading ontvangt. In plaats van de beide verticale *Zambonische* kolommen kan men eene horizontale bezigen, met wier beide polen door geleidingsdraden twee tegen elkander over staande metaalplaten in gemeenschap gebragt zijn: en op die wijze verkrijgt men den reeds vroeger bladz. 350 beschreven toestel.

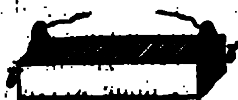
Verschillende vormen der galvanische keten. Met den naam van 40
galvanische keten bestempelt men alle toestellen, die tot opwekking van eenen aanhoudenden electrischen stroom dienen. In den regel zijn zij uit twee metalen en eene vloeistof zamengesteld. De kolom van VOLTA, waarover wij tot nu toe gehandeld hebben, was de eerste toestel van die soort; doch deze vorm heeft vele ongeriefelijkheden. De onderste schijven namelijk zijn door de zwaarte der bovenste sterker ineengedrukt; daardoor worden de vochtige schijven uitgeperst, zij worden droog, terwijl de vloeistof aan de kanten der kolom naar beneden vloeit; hierdoor echter wordt eene geleidende gemeenschap tusschen de afzonderlijke platen-paren te weeg gebragt, waardoor de werking van het geheel verzwakt wordt.

De *trog-toestel*, die langen tijd in gebruik was, is in Fig. 393 en 394 voorgesteld. De afzonderlijke elementen bestaan uit regthoekige platen van koper en zink, die op elkander gesoldeerd zijn. Deze platen-paren nu zijn evenwijdig aan elkander in eene houten

Fig. 393.



Fig. 394.



kast *b b'*, welker wanden van binnen met eene niet geleidende harslaag overtrokken zijn, in dier voege bevestigd, dat de ruimte tusschen elke twee paar platen eene cel, eenen trog vormt, welke met zuur gemaakt water gevuld wordt. Deze waterlaag, die ongeveer 3 lijnen dik is, vervangt in dit geval de plaats eener vochtige schijf.

Bij andere galvanische toestellen bevindt de vloeistof zich in afzonderlijke vaten of glazen, die in eenen cirkel of op eene regte lijn geplaatst zijn. Elk glas bevat eene zink- en eene koperen plaat, die elkander echter niet aanraken. Elke zinkplaat is door eenen koperen draad of reep met de koperen plaat van het voorafgaande glas verbonden. Tot deze klasse behoort voornamelijk de *Wollastonsche batterij*. Tot beter begrip dier zamenstelling, zullen wij vooraf twee paar platen, die in Fig. 395 van ter zijde en in Fig. 396 van voren gezien

Fig. 395.

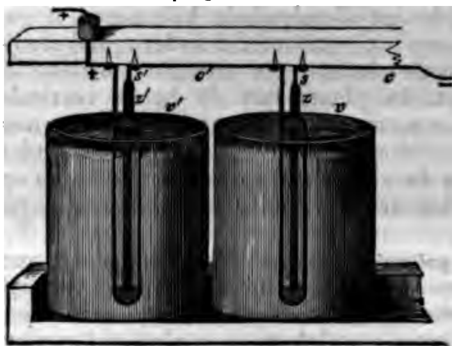
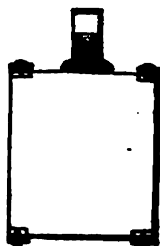


Fig. 396.



afgebeeld zijn, beschouwen. De reep koper *c s* is bij *s* aan de zinkplaat *s z* vastgesoldeerd; *c' s'* is eene andere koperen reep, die bij *s'* aan eene tweede zinkplaat gesoldeerd is. Doch de koperen reep *c' s'* is vereenigd met eene koperen plaat, die geheel om de eerste zinkplaat heen gebogen is, zonder dezelve aan te raken.

Om de tweede zinkplaat is op dezelfde wijze eene koperen plaat aangebragt, die met den draad der negatieve pool verbonden is. Elk paar platen hangt in een vat hetwelk met zuur gemaakt water gevuld is. De eerste zinkplaat wordt, in aanraking zijnde met de koperen reep *c s* + electrisch. Deze positieve lading gaat door de vloeistof tot de koperen plaat over, die het zink, zonder het aan te raken, omringt, van deze koperen plaat door de koperen reep naar de tweede zinkplaat, enz. Deze inrigting levert groote voordeelen op. 1) Tegen over de beide oppervlakten van elke zinkplaat staat eene koperen vlakte; 2) de vloeibare laag, door welke de electriciteit gaan moet om van eene zinkplaat op de naastbij zijnde koperen plaat over te gaan, is buitengemeen dun, en 3) uit hoofde van de

aanmerkelijke hoeveelheid vloeistof in elk vat, ondergaat derzelver natuur niet zoo spoedig verandering als in den trogtoestel, bij welken om die reden de werkzaamheid grootelijks verminderd wordt.

In Fig. 397 is de geheele *Wollastonsche* batterij van ter zijde, in Fig. 399 van boven gezien, en in Fig. 398 van voren voorgesteld.

Fig. 397.

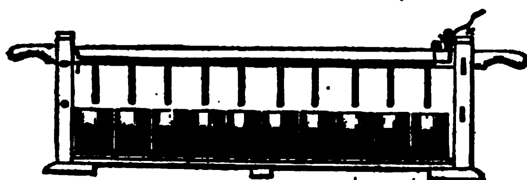


Fig. 398.

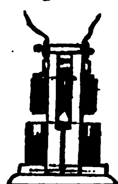
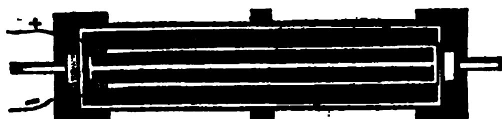


Fig. 399.

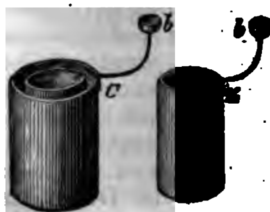


Alle platen-paren zijn gezamentlijk aan eene houten lijst bevestigd, zoo dat men ze gelijktijdig in de vloeistof hangen en er weder uitnemen kan. Tot vulling der vaten bezigt men gewoonlijk water, bij hetwelk $\frac{1}{16}$ zwavelzuur en $\frac{1}{20}$ salpeterzuur gevoegd is.

Naar mate de *Voltasche* toestellen tot verschillende proeven gebezigd moeten worden, wordt er of een grooter getal, of grootere platen-paren vereischt. Sommige verschijnselen kan men slechts door eene kolom van vele platen-paren daarstellen, al zijn dezelve niet groot, andere daarentegen vereischen slechts een enkel, doch zeer groot platen-paar met eene zeer volmaakte metalen sluiting. Later zullen wij zien, dat door de grootte der platen-paren de hoeveelheid der circulerende electriciteit, doch door derzelver getal de electrische spanning, die den stroom in beweging brengt, vermeerderd wordt.

Tot zoodanige proeven, die eene groote hoeveelheid circulerende *E*, doch eene geringe spanning vereischen, bezigt men de zoogenaamde enkelvoudige ketens. Eene dusdanige is in Fig. 400 voorgesteld. *C* is een vat, hetwelk uit twee cilinders van bladkoper bestaat, die ongelijke diameters hebben, van welke de eene in den anderen geplaatst is en die aan den bodem met elkander verbonden zijn, in dier voege, dat er eene ruimte overblijft, waarin de ci-

Fig. 400.



linder van zink *Z* en het suurgemaakte water geplaatst kunnen worden. Aan den zinkcilinder is een koperdraad gesoldeerd, hetwelk in een napje eindigt, waarin kwikzilver gegoten wordt. Een soortgelijk kwikzilver-napje is insgelijks aan het koperen vat gesoldeerd. Wanneer men den cilinder van zink in het koperen vat plaatst, moet men zorg dragen, dat het zink niet met het koper in geleidende aanraking komt. Het best voorkomt men deze aanraking door eenige stukjes kurk. Indien men de keten sluiten wil, verbindt men de kwikzilver-napjes door eenen metalen draad. Deze toestel heeft het groote voordeel, dat men het zink zeer gemakkelijk schoon maken kan.

Wordt er eene zeer groote oppervlakte der metaalplaten vereischt, dan bezigt men den *Calorimotor van Hare*, die in Fig. 401 en 402 voorgesteld is. Op eenen houten cilinder *b*, die ongeveer 3 duim in diameter heeft en 1 tot 1,5 voet hoog is, zijn twee platen, de eene van zink de andere van koper, als het ware opgerold. Deze platen zijn door strooken laken *l* van elkander gescheiden. Op die wijze verkrijgt men een platen-paar van 50 tot 60 vierkante voet oppervlakte. Den naam calorimotor heeft deze toestel verkregen, omdat hij zeer geschikt is om metaaldraden gloeijend te maken en te smelten.

Fig. 401.



Fig. 402.

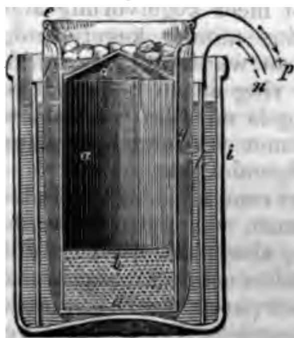


Bij alle tot hiertoe behandelde enkelvoudige en zamengestelde ketens, is de werking terstond na het indompelen in de zure vloeistof zeer krachtig, doch zij vermindert zeer spoedig. Deze veranderlijkheid van den stroom is altijd, voornamelijk echter dan hinderlijk, wanneer het te doen is, om vergelijkende proeven aangaande de stroomkracht te bewerkstelligen. Aan deze ongeriefelijkheid nu zijn de zoo genaamde *standvastige (constante) batterijen*, die eerst in lateren tijd in gebruik gekomen zijn, niet onderhevig. Ter dezer plaatse laten wij voor 's hands slechts eene beschrijving der voornaamste standvastige ketens volgen; derzelver theorie echter, alsmede de ontwikkeling der redenen, waarom bij gewone ketens de stroomkracht zoo spoedig vermindert, moet tot een volgend hoofdstuk uitgesteld worden.

Als uitvinder der standvastige ketens moet BECQUEREL genoemd worden. In Fig. 403 is een element eener standvastige *Becquerel*sche keten voorgesteld. Hetzelve bestaat uit eenen hollen cilinder *a* van zeer dun bladkoper, die met een weinig zand *b* bezwaard en aan alle zijden gesloten is. De onderste bodem *c* is vlak, de bovenste *d* kegelvormig; boven denzelven

verheft zich een rand *e*, in welken zich meerdere gaten bevinden. De geheele cilinder nu is van eene dierenblaas *g* omgeven, die aan den rand *e*, boven de gaten *f*, bevestigd is. Op den kegel *d* giet men nu eene oplossing van kopervitriool, die door de gaten *f* loopt om de ruimte tusschen de blaas en den cilinder *a* te vullen. Op den kegel *d* legt men eenige stukken kopervitriool, hetwelk langzamerhand in de vloeistof opgelost wordt, van welke het altijd omringd moet wezen. De blaas is van eenen hollen zink-cilinder *h* omgeven, die in de lengte opgekloofd is, zoo dat men denzelven naar goeddunken een weinig naauwer of wijder maken kan. Deze zink-cilinder zoowel als de blaas, welke den koperen cilinder en de oplossing van kopervitriool bevat, zijn in een glazen of porseleinen vat *i* gedompeld, waarin verdund zwavelzuur of eene oplossing van zinkvitriool of keukenzout vervat is. Twee sterke koperdraden *p* en *n*, van welke het eene aan den zink-cilinder, het andere aan het koper vastgesoldeerd is, stellen de beide polen van het element daar. Maakt men tusschen die beide pooldraden eene metalen verbinding, alsdan begint de circulatie van den electrischen stroom.

Fig. 403.



De *standvastige batterij* van DANIEL is slechts eene wijziging van die van BECQUEREL.

Bij de batterij van BUNSEN is het koper door de nog meer negatief-electrische kool vervangen, en wel wordt de kool in den vorm van holle cilinders gebezigd. Een dusdanige holle van onderen opene cilinder van 12dm. hoogte, 6,4dm. diameter en wiens wanden ongeveer 6str. dik zijn, zoo als in Fig. 404 voorgesteld is, wordt in een glazen vat geplaatst, hetwelk van boven een weinig naauwer is, zoo dat aldaar geene merkbare ruimte tusschen de kool en het glas overblijft, en de cilinder dus geheel vast in het glas staat. In de holte van den koolcilinder wordt nu een holle van onderen gesloten poreuse aarden cilinder geplaatst, die bij eene hoogte van ongeveer 10,5dm. zoodanigen diameter heeft, dat hij juist in de holte van den koolcilinder past, en er tusschen de aarden en koolcilinder slechts eene zeer geringe ruimte overig blijft. De aarden cilinder wordt met verdund zwavelzuur gevuld, het glas echter bevat zoo veel gecontreerd salpeterzuur, dat, wanneer de aarden

Fig. 404.

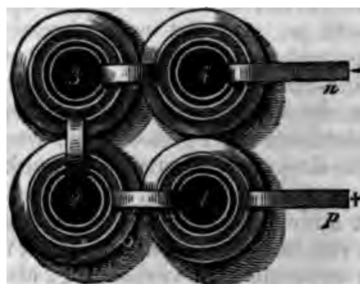


cilinder er in geplaatst is, bijna de geheele nog vrije ruimte van het glas tot aan den naauweren hals met die vloeistof gevuld is.

Het bovenste gedeelte van den uit kool vervaardigden cilinder steekt boven het glas uit en is min of meer kegelvormig afgedraaid, zoo dat een insgelijks eenigzins minder kegelvormige ring *a* van zink er vast op geplaatst kan worden. Door middel van eenen zinken beugel *b* draagt de ring eenen hollen zinken cilinder *c*, die ongeveer 8,7dm. hoog is en 4dm. in diameter heeft. Deze cilinder *c* hangt in den met verdund zwavelzuur gevulden aarden cilinder van het volgende glas.

Op welke wijze een paar, waarvan het eene uit kool het andere uit zink bestaat, met het naast daaraan volgende verbonden is, ziet men uit Fig. 405, welke eene combinatie van vier paren van boven gezien voorstelt. De uit kool vervaardigde cilinders zijn door horizontale dwarsstrepen aangeduid. Binnen elken dusdanigen cilinder ziet men in de figuur twee witte kringen; de buitenste derzelve stelt den aarden cilinder van boven te zien, de binnenste den zink-cilinder voor. De zink-cilinder van het eerste glas is door eenen beugel met den zinken ring verbonden, die den kool-cilinder van het tweede glas omvat. Insgelijks verbindt een zinken beugel den zinken cilinder van het tweede met den zinken ring van het derde glas, en een derde beugel verbindt den derden zink-cilinder met den vierden zinken ring. De ring, die op den eersten uit kool vervaardigden cilinder geplaatst is, eindigt in eene reep zink, die tot positieve pool dient; de zinkreep *n*, in welken de zink-cilinder in het vierde glas eindigt, is de negatieve pool der keten.

Fig. 405.



Op dezelfde wijze worden ketens van zoo vele paren als men verkiest zamengesteld.

In elk afzonderlijk paar gaat de positieve stroom van den zink-ring, die den kool-cilinder omvat, door den beugel naar den zink-cilinder van het volgende glas, van dezen door het verdund zwavelzuur, door de porien van den aarden cilinder en het salpeterzuur naar den volgenden kool-cilinder enz.

De kool voor die cilinders wordt op eene bijzondere wijze uit steenkolen en coke bereid, met welke bereiding wij ons hier niet nader kunnen bezig houden.

De batterij van GROVE heeft ten opzigte harer zamenstellingen veel overeenkomst met die van BUNSEN; slechts wordt platina in plaats van kool gebezigd.

TWEEDE HOOFDSTUK.

Werkingen van den galvanischen stroom.

Physiologische werkingen der kolom. De zenuwtrekkingen, welke 198
de electriciteit der kolom van VOLTA te weeg brengt, zijn niet minder hevig dan die der gewone electrische batterijen. Derzelver sterkte hangt voornamelijk af van het aantal der platenparen, bij gevolg van de grootte der spanning. Om den ontladingsschok der kolom door het menschelijke ligchaam te leiden, moet men de handen een weinig vochtig maken, het best met pekel, want de opperhuid is een zeer slechte geleider. Indien men met drooge vingers de beide polen eener kolom van 20 tot 30 paren aanraakt, gevoelt men niet den minsten schok, deze wordt echter dadelijk merkbaar, wanneer men de handen vochtig gemaakt heeft. De schok eener kolom van 80 tot 100 paren is zeer gevoelig.

Men ondervindt eenen schok in den oogenblik, waarop men de keten met de vingers sluit. Zoo lang de keten gesloten blijft, circuleert de electrische stroom door het ligchaam, zonder eene zeer merkbare werking op het gevoel te weeg te brengen; slechts bij zeer sterk werkende kolommen ondervindt men, gedurende het gesloten zijn een brandend tintelend gevoel op die plaatsen, waar de stroom in het ligchaam gevoerd wordt. Eenen tweeden schok echter gevoelt men in den oogenblik, waarop men de keten weder opent. Deze laatste schok, de *scheidingsslag*, is evenwel veel zwakker dan de *sluitingsslag*.

Reeds door eene enkelvoudige keten kan een naar de bliksem gelijkend verschijnsel in de oogen te weeg gebragt worden. Men kan deze proef op velerlei wijze bewerkstelligen: men brengt b. v. eene zilveren plaat aan den oogappel zelven of aan het te voren goed vochtig gemaakte ooglid en raakt ze vervolgens met een stuk zink, hetwelk men in de goed vochtig gemaakte hand of in den mond houdt, aan. Indien men den stroom eener kolom door de oogen laat gaan, dan wordt het verschijnsel van licht sterker.

Indien men een stuk zink op en een stuk zilver onder de tong legt, en vervolgens de voorste uiteinden van beide metalen met elkander in aanraking brengt, ondervindt men eenen eigendommelijk bitteren smaak.

Voortbrenging van licht en warmte door galvanische stroomen. De 199
galvanische stroomen brengen, even als de wrijvings-electriciteit, warmte en licht voort.

Indien men eenen galvanischen stroom door eenen metaaldraad leidt, wordt deselve verwarmd; om echter eene sterke werking te verkrijgen, moet de sluitingsdraad zeer kort en dun zijn. De sterkte der verhitting is afhankelijk van de grootte der metaalplaten en niet van derzelver getal. Om metaaldraden gloeijend te maken, heeft men slechts eene enkelvoudige keten van eene zeer groote oppervlakte noodig, zoo als in Fig. 406

is voorgesteld. Een toestel van BUNSEN is ook zeer bijzonder geschikt tot dergelijke proeven. Hoe grooter de werkende oppervlakte van den galvanischen toestel is, des te dikkere draden kan men er gloeijend mede maken en smelten.

Fig. 406.



IJzer- en staaldraad wordt wit gloeijend, smelt en verbrandt onder het verspreiden van heldere vonken.

Platinadraad wordt helder gloeijend en smelt af, indien hij ten opzigte van de gebezigde keten kort en dun genoeg is.

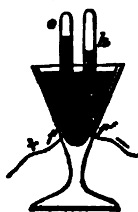
Dunne goudblaadjes vervlugtigen, en daar men met dezelve de polen niet kan aanraken, zonder dat zij aan de plaats van aanraking in damp veranderen, wordt de keten voortdurend afgebroken en weder gesloten: alsdan ziet men eene menigte kleine schitterende vonken van eene groenachtige kleur overspringen. Zilverblaadjes vertoonen soortgelijke verschijnsels.

Indien men aan beide polen eener galvanische keten aangepunte stukken kool bevestigt (het geschikste hiertoe is kool van dezelfde soort, als die waaruit de kool-cilinder der batterij van *Bunsen* vervaardigd is), zal men, zoodra die punten met elkander in aanraking gebragt worden, tusschen dezelve een buitengemeen schitterend licht waarnemen. Reeds met eene *Bunsensche* batterij van vier elementen kan dit heldere licht daargesteld worden; dáár waar de punten der kool elkander aanraken, vertoont zich eene kleine zeer heldere lichtgevende ster. Indien men het getal der elementen vermeerdert, neemt de glans van het verschijnsel buitengemeen toe; met eene keten van 30 tot 60 elementen verkrijgt men een licht, hetwelk het kalklicht van DRUMONT verre overtreft. Wanneer men zoo veel paren bezigt, kan men ook, als de stroom eenmaal aan 't overgaan is, de punten der kool tamelijk ver van elkander verwijderen, en op die wijze verkrijgt men door de gloeijende deeltjes der kool, die van de eene pool tot de andere overgaan, het heerlijke verschijnsel van eenen lichtboog.

200 **Chemische werkingen der kolom van VOLTA.** De eerste en belangrijkste chemische werking der kolom werd in het laatst der voorgaande eeuw (30 April 1800) door CARLISLE en NICHOLSON ontdekt. Deze beide natuurkundigen hadden, om de proeven van VOLTA te herhalen, in der haast eene kolom van geldstukken, zinkplaten en vochtige bordpapieren schijven opeengestapeld. Na het verrigten van eenige proeven werd men den eigendommelijken reuk van waterstofgas gewaar, en naar aanleiding hiervan kwam NICHOLSON op het gelukkige denkbeeld om den stroom door eene buis met water te laten gaan, door de beide pooldraden in hetzelve te dompelen en op eenigen afstand van elkander te houden. Weldra steeg het waterstofgas in kleine blaasjes aan den negatieven pool op, terwijl de positieve uit zink bestaande pooldraad oxydeerde. Indien men tot positieven pooldraad platina of zilver bezigt, dan

oxydeert dezelve niet, maar het zuurstofgas stijgt insgelijks als blaasjes in de hoogte. — Op die wijze was dan eindelijk het water regtstreeks in deszelfs grondstoffen ontleed. CAVENDISH had wel is waar reeds aangetoond, dat zuurstofgas en waterstofgas zich tot water verbinden, doch niettegenstaande alle aangewende moeite was men nog niet geslaagd in de regtstreeksche ontleding van het water. Een gepaste toestel tot ontleding van water is in Fig. 407 voorgesteld. Dezelve bestaat uit een glas, in welks bodem twee platinadraden *f* en *f'*, die elkander echter niet mogen aanraken, vastgesmolten zijn. Twee glazen klokjes *o* en *h* zijn met water gevuld en omgekeerd in het glas geplaatst, zoo dat zich boven elk der beide draden een klokje bevindt. Zoodra men nu de draden *f* en *f'* met de polen der keten in gemeenschap stelt, ontwikkelt zich eene groote hoeveelheid gasblaasjes. In het eene klokje boven de positieve pool stijgt altijd zuiver zuurstofgas omhoog, in het andere waterstofgas. Het spreekt van zelf, dat het water in de klokjes van het water in het glas niet mag afgesloten zijn, ten einde de stroom door de vloeistof heen van den eenen draad tot den anderen kunne komen.

Fig. 407.



Hoe digter de pooldraden *f* en *f'* bij elkander geplaatst zijn en hoe grooter de oppervlakte van het metaal is, welke zich met het water in aanraking bevindt, des te sterker is de ontwikkeling van gas. Om die reden heeft men bij vele toestellen, die tot ontleding van water moeten dienen, de draden door platinaplaatjes vervangen.

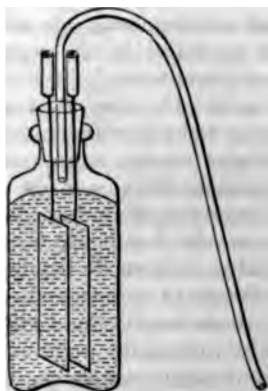
Het gedestilleerde en volkomen zuivere water wordt op die wijze, doch slechts langzaam ontleed, zoodra men echter slechts eenige droppels van eenig zuur er bij giet of eenige korreltjes keukenzout in het water oplost, waardoor deszelfs geleidingsvermogen aanmerkelijk verhoogd wordt, begint er eene zeer levendige gasvorming, zoo dat men in korten tijd eene vrij aanmerkelijke hoeveelheid der gassen opvangen kan. Hoe de hoeveelheid der gevormde gassen afhankelijk is van de sterkte van den stroom, zullen wij later zien.

Indien niet beoogd wordt de beide gassoorten ieder afzonderlijk op te vangen, kan men den toestel, in Fig. 408 voorgesteld, bezigen, in welken meer water ontleed wordt, omdat twee grootere platinaplaten veel digter bij elkander staan. Het knalglas ontwijkt door eene kromme buis, en indien men derzelver opening onder water dompelt, kan men het gas opvangen of de afzonderlijk ontwijkende blaasjes dadelijk doen ontploffen.

De hoeveelheid zuurstofgas, hetwelk aan de positieve pool vrij wordt, en zich in de buis *o*, Fig. 407, verzamelt, bedraagt in volume altijd slechts de helft van de hoeveelheid waterstofgas, dat aan de andere pool vrij wordt en in de buis *h* opklimt. De gassen

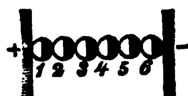
worden dus juist in die verhouding uitgescheiden, waarin zij zich tot water verbinden. Het water bestaat, zoo als bekend is, uit 1 Aequivalent zuurstofgas + 1 Aeq. waterstofgas. Doch onder bijna gelijke omstandigheden neemt 1 Aeq. waterstofgas de dubbelde ruimte van 1 Aeq. zuurstofgas in. Bij gevolg zouden, de door de kolom uitgescheidene gassen, indien zij met elkander verbonden werden, wederom water daarstellen.

Fig. 408.



GROTTHUSS heeft van dit merkwaardige verschijnsel de volgende verklaring gegeven, die tegenwoordig door bijna alle natuurkundigen als de juiste aangenomen wordt. Wanneer waterstofgas met zuurstofgas tot water verbonden is, worden door dié innige onderlinge aanraking der kleinste deeltjes de atomen zuurstof negatief, de atomen waterstof positief electrisch; doch uit hoofde der evenmatige verdeeling der deeltjes van beide zelfstandigheden, vertoont de verbinding natuurlijk geene vrije electriciteit. Indien nu het water zich tusschen de beide polen eener galvanische keten bevindt, zal de positieve pool op de naast bij liggende waterdeeltjes in dier voege werken, dat het negatieve bestanddeel aangetrokken en naar de positieve pool gekeerd wordt, terwijl het afgestootene atome waterstof van het eerste waterdeeltje van de positieve pool afgekeerd is. Doch het waterdeeltje 1, Fig. 409, werkt op het waterdeeltje 2 in dier voege, dat het zijne elementen naar denzelfden kant keert; op dezelfde wijze werkt 2 op 3 enz. Een gevolg hiervan is, dat alle waterdeeltjes tusschen de beide polen hun atome zuurstof naar de positieve pool, hun atome waterstof naar de negatieve pool keeren, ten naastenbij op de wijze als in Fig. 409 aanschouwelijk is gemaakt, waar de cirkeltjes waterdeeltjes voorstellen, en wel de zwarte helften atomen waterstof, de witte atomen zuurstof. Indien nu de aantrekking, welke de positieve pool op het atome zuurstof van het waterdeeltje 1 uitoefent, groot genoeg is, wordt dit als het ware aan zijn atome waterstof ontrukt; dit atome waterstof verbindt zich weder met de zuurstof van het waterdeeltje 2; de waterstof van 2 verbindt zich met de zuurstof van 3 enz. Op die wijze heeft er in de geheele uitgestrektheid tusschen beide polen eene aanhoudende ontleding en nieuwe vorming van water plaats, slechts aan de polen zelve kunnen deszelfs bestanddeelen vrij worden.

Fig. 409.



Juist zoo als tusschen de polen, heeft er ook in alle cellen der galvanische keten eene ontleding van water plaats.

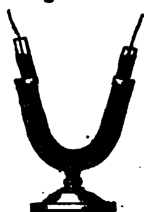
Op dezelfde wijze als het water, worden insgelijks de oxyden door de galvanische keten ontleed. Zuurstof vertoont zich aan de + pool, de basis aan de — pool. Met metaal-oxyden die gemakkelijk te herleiden zijn, kan men de proef op de volgende wijze bewerkstelligen: Op een blad van platina, hetwelk met de + pool der kolom in verbinding staat, strooit men een weinig van het drooge poedervormige oxyde en raakt vervolgens dit poeder met den negatieven draad aan; weldra ziet men aan het einde van den draad kleine metaalbolletjes te voorschijn komen. Moeijelijker te herleiden oxyden moeten, voornamelijk wanneer zij poedervormig zijn, met een weinig water vochtig gemaakt worden. Het water wordt wel is waar ook gedeeltelijk ontleed, doch het dient tevens om het geleidingsvermogen te vergrooten. Na eenigen tijd ziet men, indien de kolom sterk genoeg is, kleine metaalbolletjes aan de negatieve pool te voorschijn komen.

Een nieuw tijdvak voor de wetenschap begon met de door DAVY, in het jaar 1807, met behulp der kolom gedane ontdekking van de ontleedbaarheid der alkalien, die men tot dien tijd voor enkelvoudige ligchamen gehouden had. Daardoor werden de alkalien en de aarden in de klasse der oxyden teruggebragt en de scheikunde met twee nieuwe metalen ligchamen, potassium en sodium, verrijkt. Om potassa te ontleden, moet men eene zeer sterk werkende kolom bezigen. Indien men de proef op de boven vermelde wijze bewerkstelligd, dan ziet men talrijke metaalbolletjes aan de negatieve pool verschijnen en onder het verspreiden van vonken weder verdwijnen. Dit is het potassium hetwelk bij de ontleding van de potassa vrij wordt. Deszelfs verwantschap met de zuurstof echter is zoo groot, dat het, met de lucht in aanraking zijnde, dadelijk weder oxydeert. Doch indien het met water in aanraking komt, onttrekt het aan dit de zuurstof en ontsteekt het waterstofgas, van waar het verschijnsel van vuur zijnen oorsprong heeft. Daarom moet men het potassium in eene vloeistof, die geene zuurstof bevat, bewaren. Tot dat einde gebruikt men gewoonlijk steen-olie, welke uit koolstof en waterstof zamengesteld is.

SEEBECK heeft een middel opgegeven om het door de kolom uitgescheidene potassium met meer zekerheid te verzamelen. In een stuk bijtende potassa, hetwelk ontleed moet worden, maakt men eene holte en giet kwikzilver in dezelve. Vervolgens legt men de potassa op een stuk platina, hetwelk met de positieve pool der kolom in gemeenschap staat, doch dompelt het uiteinde van den negatieven draad in het kwikzilver. Spoedig grijpt de ontleding plaats, zuurstof wordt aan het platina vrij, het potassium echter verbindt zich met het kwikzilver tot een tamelijk duurzaam amalgama. Door destillatie in eene atmosfeer van steen-olie, kan men vervolgens het kwikzilver afscheiden en het potassium in zuiveren toestand verkrijgen.

Ook de zouten worden door den galvanischen stroom ontleed, en wel verschijnt het zuur aan de positieve, de basis aan de negatieve pool. De ontlèding der zouten kan op de volgende wijze zeer goed voor het oog zigtbaar gemaakt worden. Men vulle eene buis, die in de gedaante eener V gebogen is, Fig. 410, met eene oplossing van zout, welke door tinctuur van lakmoes paarsch gekleurd is. Indien men nu aan de eene zijde den positieven, aan de andere den negatieven pooldraad in de vloeistof dompelt, zal deze aan de positieve pool rood, aan de negatieve blaauw gekleurd worden. Verwisselt men nu de polen, alsdan herstelt zich langzamerhand de oorspronkelijke paarsche kleur, vervolgens echter verschijnt het rood daar, waar vóór de verwisseling der draden het blaauw was en zoo ook omgekeerd.

Fig. 410.



Indien men eene oplossing van zout in twee naast elkander geplaatste vaten giet, die door een vochtig weefsel van asbest (steenvlas) of door eenen Λ vormigen met de vloeistof gevulden hevel verbonden zijn, en men dompelt vervolgens in het eene vat den positieven, in het andere den negatieven pooldraad, alsdan heeft de ontbinding insgelijks plaats, en na verloop van eenigen tijd bevindt het zuur zich in het vat, waarin de positieve draad gedompeld was, de basis in het andere. Zelfs indien men in het vat *A*, hetwelk den positieven pooldraad bevat, de oplossing der basis, in het andere *B* het zuur giet, zal zich na eenig tijdsverloop het zuur in *A*, de basis in *B* bevinden. Deze proeven heeft men op velerlei wijze afgewisseld.

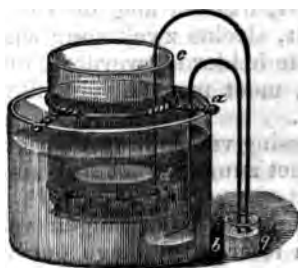
Niet altijd wordt eene oplossing van zouten door den galvanischen stroom in het zuur en de basis ontleed. Dikwerf namelijk heeft dit alleen plaats met het zuur of de basis. Eene oplossing van kopervitriool b. v. wordt in dier voege ontleed, dat het koper zich aan de negatieve pool afscheidt, terwijl de zuurstof van het koperoxyde aan de andere zijde de verbinding, waarin zij zich tot dusver bevond, verlaat. Zeer schoon heeft deze ontleding van het kopervitriool plaats in de, bladz. 360 beschrevene standvastige keten van BECQUEREL en in die van DANIEL. Wanneer de keten gesloten is, gaat de positieve stroom van het zink door het verdunde zwavelzuur, vervolgens door de oplossing van het kopervitriool naar het koper. Wordt het zink, in aanraking zijnde met het koper, + electrisch, het koper — electrisch, dan is het zink bij gevolg de positieve, het koper de negatieve pool; de positieve stroom komt dus bij het zink, de negatieve bij het koper in de vloeistof. Aan de eene zijde van den scheidewand wordt nu water ontleed, de zuurstof gaat naar het zink om zinkoxyde te vormen, hetgeen in het zuur opgelost wordt, waardoor alsdan zinkvitriool ontstaat. Het waterstofgas gaat tot aan den scheidewand

en stelt als het ware de positieve pool voor den stroom daar, die nu in de andere vloeistof overgaat. Het koperoxyde wordt door dien stroom ontleed, de zuurstof van het oxyde begeeft zich naar de positieve pool, dus naar den scheidewand, alwaar zij zich met de aan de andere zijde uitgescheidene waterstof tot water verbindt, terwijl het koper aan de negatieve pool, dus aan de koperen plaat, als metaal uitgescheiden wordt.

Hoogst belangrijk is de toepassing, welke men van deze metalen neêrploffing van het koper heeft gemaakt, en welke onder den naam van *galvanoplastiek* bekend is. Men behoeft namelijk slechts aan het negatieve element van zoodanige combinatie eenen bepaalden vorm te geven, ten einde van dien vorm afdruksels van kopermetaal, te verkrijgen.

Om de keten van BECQUEREL tot dit doel aan te wenden, moet men aan dezelve eene eenigzins andere gedaante geven. Ter verkrijging van een groot aantal afdrukken van munten, medailles enz. is de toestel, welke in Fig. 411 voorgesteld is, zeer geschikt.

Fig. 411.



a b is een glazen vat, hetwelk van boven open is, en ongeveer 6—8 duim in doorsnede heeft. In dit hangt een tweede glas *c d*, hetwelk naauwer en van onderen met eene dierenblaas toegebonden is. Een weinig boven het midden is om dit naauwere glas een draad stevig heen gewonden, die in drie armen uitloopt, welke, op den rand van het buitenste glas liggende, het binnenste dragen, zoo dat de blaas nog 1,5 tot 2 duim van den bodem van het grootere glas verwijderd is. Het binnenste glas wordt nu met zeer verdund zwavelzuur, de ruimte tusschen den binnensten en den buitensten cilinder met eene oplossing van kopervitriool gevuld. In het verdunde zwavelzuur rust op een houten kruis een stuk zink, aan hetwelk een koperdraad gesoldeerd is, die het stuk zink met het kwikbakje *g* verbindt. Uit het kwik in dit bakje gaat een tweede koperdraad naar de in de oplossing van kopervitriool liggende vorm, die noodwendig uit eene stof bestaan moet, welke meer negatief-electrisch is dan zink.

Zoodanigen vorm kan men verkrijgen, indien men uit het ligt smeltbare metaalmengsel van ROSE een afgietsel vervaardigt van de munt, welke men verlangt af te drukken. Nog gemakkelijker kunnen vormen van was en stearine vervaardigd worden. Men smelt was en stearine met een weinig tot fijn poeder gebragt graphiet ondereen, en giet de vloeistof op de met eenen papieren rand omgeven munt; op die wijze verkrijgt men eenen zeer fraaijen vorm. De vorm is echter niet geleidend, hij wordt zulks eerst door zijne vlakte, waarop het koper zich nederzetten moet, met eene zeer dunne laag van fijn koperbrons te bedek-

ken. Dit bekleedsel, hetwelk met een zacht penseeltje daargesteld wordt, ontneemt aan den vorm volstrekt niets van deszelfs zuiverheid en scherpte. De vorm wordt in dier voege in de oplossing van kopervitriool gelegd, dat de geleidend gemaakte oppervlakte naar boven gekeerd is. De koperdraad behoeft met de fijne graphietlaag van den vorm slechts even in aanraking te zijn.

Dat gedeelte van den koperdraad, hetwelk in de oplossing van kopervitriool gedompeld is, moet met schellak of zegellak overtrokken zijn, omdat zich anders ook op dien draad kopermetaal afzet; slechts ter plaatse waar dezelve den vorm aanraakt, moet hij metaal zijn.

De stroom, die door den toestel omgevoerd wordt, is slechts zwak; het koper zet zich langzaam op de koperen vlakte af en wel slaat het het eerst om den koperdraad aan. Om die reden moet men van tijd tot tijd den draad op een ander gedeelte van den vorm plaatsen. Naar mate de stroom sterker of zwakker is, is in eenen of meerdere dagen de koperlaag dik genoeg om er afgenomen te worden. Bij zwakkere stroomen wordt de nederploffing van het koper het gelijkmatigst; daarom mag de vloeistof, waarin het stuk zink zich bevindt, slechts zwak zuur zijn.

Hoe meer koper er afgezet is, des te helderder wordt de oplossing van het vitriool. Zoo noodig, moet men de verbruikte oplossing door eene andere vervangen.

Somtijds is het voordeeliger de oplossing van het kopervitriool met den vorm in het binnenste vat, het zuur met het stuk zink in het buitenste over te brengen.

In lateren tijd heeft men zeer belangrijke toepassingen van van de galvanoplastiek gemaakt. Men is er in geslaagd om op die wijze houtsneden met alle scherpte van het oorspronkelijke te vermenigvuldigen, waardoor het mogelijk wordt, van eene en dezelfde figuur zoo vele afdrukken als men verkiest te verkrijgen, zonder dat de latere slechter zijn dan de vroegere.

Eene gegraveerde koperen plaat verduurt, zoo als bekend is, niet veel afdrukken, zonder aanmerkelijk af te slijten; de latere afdrukken zijn altijd slechter dan de eerste; van daar de waarde der zoogenaamde *avant la lettre* (proefdrukken). Hierdoor is de staalgravure zoo zeer in zwang gekomen, omdat eene stalen plaat veel meer afdrukken verduren kan. Voor de kunst is zulks zonder twijfel nadeelig, omdat de hardheid van die stof den kunstenaar groote technische moeijelijkheden in den weg legt, die het voor hem onmogelijk maken, op staal een zoo volmaakt kunststuk te leveren, als op koper. Thans echter heeft men geleerd, koperen platen, zelfs groote koperen platen langs den galvanoplastischen weg te vermenigvuldigen, en wel zoodanig, dat de afdrukken der copien, van welke men er zoo vele als men verkiest maken kan, volmaakt gelijk zijn aan die der oorspronkelijke plaat.

Kobell te *Munchen*, eindelijk, heeft eene wijze opgege-

ven, om teekeningen in Oost-Indische inkt door galvanoplastiek te vermenigvuldigen. Op eene verzilverde koperen plaat teekent men met eene verw, welke bereid wordt door oker of coaks met eene oplossing van was- en terpentijn-olie te wrijven en een weinig Dammara-vernis er bij te voegen. Met deze verw teekent men op de plaat in dier voege, dat de lichtste plaatsen vrij blijven, en de verw dikker opgebragt wordt, hoe donkerder de schaduw zijn moet. Zoodra de teekening gereed is, wordt dezelve door middel van een zacht penseel met tot fijn poeder gebragt graphiet overtrokken en vervolgens in den galvanoplastischen toestel geplaatst. Allengs slaat het koper op de geteekende plaat neder en vormt eene tweede koperen plaat, op welke alle lichte plaatsen der eerste effen, de schaduwen echter hol zijn. Deze plaat nu, als eene gegraveerde koperen plaat behandeld wordende, levert afdrukken, die aan eene teekening in Oost-Indische inkt gelijk zijn. THAYER te *Weenen* heeft het in die manier reeds tot groote volkomenheid gebragt, en men kan verwachten, dat dezelve voor de kunst van nog grooter belang zal worden.

Op dezelfde wijze als uit eene oplossing van kopervitriool langs den galvanischen weg koper aan de negatieve pool der keten nederslaat, zetten zich ook andere metalen, zoo als goud, zilver, platina, uit eene daartoe geschikte oplossing aan de negatieve pool af, en op die wijze kan men andere metalen vergulden, verzilveren enz. Breedvoeriger hierover uit te weiden zoude ons thans te ver leiden.

Een belangrijk voorbeeld van metaal-neêrploffingen leveren de *gekleurde ringen van* NOBILI op. Indien men op een zilverplaatje eenige droppels azijnzuur loodoxyde brengt en vervolgens met de punt van een stukje zink het zilver in het midden der vloeistof aanraakt, vormen zich om de plaats van aanraking meerdere concentrische gekleurde ringen. Nog fraaijer vormen zich deze ringen, wanneer men de vloeistof tusschen de polen eener uit meerdere platen bestaande kolom brengt en aan de eene pool de gedaante eener plaat, aan de andere die eener punt geeft en de punt naar de plaat keert, zoo dat de electrische stroom door de vloeistof van de punt naar de plaat, of omgekeerd overgaat. Ook met andere vloeistoffen heeft NOBILI soortgelijke gekleurde ringen verkregen.

Chlorium-, jodium- en bromium-metalen worden insgelijks door den galvanischen stroom ontleed, en wel scheidt het metaal zich aan de negatieve, chlorium, jodium en bromium aan de positieve pool af. Reeds door de allerzwakste stroomen kan jodium-potasch ontleed worden.

Indien men waterige oplossingen aan de inwerking van den electrischen stroom blootstelt, worden de uitkomsten der ontleding zeer dikwerf door de aanwezigheid van het water gewijzigd. Ter vermijding van dien invloed des waters heeft FARADAY vele ligchamen door ze te smelten vloeibaar gemaakt en in dien

toestand aan de inwerking van den stroom blootgesteld. Op die wijze ontleedde hij b. v. chloorlood, chloorzilver enz., door dezelve op eene glazen plaat te leggen, door middel eener wijngeestlamp te smelten en vervolgens de beide pooldraden in de vloeibare massa te dompelen. Indien zilveren pooldraden in het gesmoltene chloorzilver gedompeld worden, wordt aan de negatieve pool het zilver uitgescheiden, hetwelk zich aan den draad aanzet, terwijl de andere zilverdraad door het vrij gewordene chlorium opgelost wordt.

Tot nu toe hebben wij altijd over ontledingen gehandeld, die door den galvanischen stroom bewerkt worden; evenwel is deze ook zeer geschikt om scheikundige verbindingen te begunstigen. Neemt men een gemakkelijk te oxyderen metaal, b. v. zink, als positieve pooldraad, dan verbindt zich het metaal zeer gemakkelijk met de uit het water uitgescheidene zuurstof. In verdund zwavelzuur lost zink, wanneer het volmaakt chemisch zuiver is, slechts langzaam op; raakt men het echter met een stuk zilver aan, dan begint aan het zilver terstond eene sterke ontwikkeling van gas, terwijl het zink zich met de zuurstof tot een oxyde verbindt, hetwelk door het zuur opgelost wordt.

Indien men de beide pooldraden eener galvanische keten van zink maakte, zoude, wanneer men beide in aangezuurd water dompelt, de ontleding van het water juist zóó plaats hebben, als of men platina of koperdraden gebezigd had. Aan den negatieven pooldraad scheidt het waterstofgas zich uit, en deze pooldraad wordt thans niet door het zuur aangetast, hetgeen gebeuren zoude indien hij niet door zijne verbinding met de kolom negatief-electrisch en daardoor tegen het inbijten beveiligd ware; de positieve pooldraad daarentegen wordt zoo veel te spoediger verteerd.

Een metaal, hetwelk op zich zelf door een zuur of eenige andere vloeistof aangetast wordt, kan tegen het inbijten beveiligd worden door het met een nog meer positief-electrisch metaal in dier voege in aanraking te brengen, dat het de negatieve pool eener enkelvoudige keten daarstelt.

Terwijl de stroom, die bij de aanraking van twee in dezelfde vloeistof gedompelde metalen ontstaat, de werkingen der verwantschap van het eene derzelve tot een der elementen van de vloeistof vergroot, wordt het vermogen van het andere metaal om dezelfde veranderingen te ondergaan, in evenredigheid verminderd. Indien b. v. eene zink- en eene koperen plaat elkander in een verdund zuur aanraken, oxydeert het zink spoediger, het koper minder spoedig, dan anders het geval zoude zijn. Hiervoor leveren de proeven van DAVY aangaande de instandhouding van het koperen bekleedsel der schepen een schoon voorbeeld op. Eene koperen plaat, in zeewater gedompeld, is aan een spoedig inbijten onderhevig; indien echter het koper in aanraking is met zink of ijzer, dan worden deze metalen opgelost, het koper echter daardoor beveiligd. DAVY heeft ont-

dekt, dat een stuk zink, zoo groot als de kop van eenen kleinen spijker, voldoende is om 40 tot 50 vierkante duim koper te beveiligen.

De ondervinding heeft echter helaas! getoond, dat dit middel om het koper zuiver te bewaren, niet in praktijk gebragt kan worden, omdat het koper in zekere mate aangetast moet zijn, om niet door het aanhangen van zeegras en schaaldieren verontreinigd te worden.

Hetzelfde beginsel heeft v. ALTHAUS toegepast, om het inbijten der ijzeren pannen, waarin de zoutloog wordt gezoden, te beletten. Hier evenwel mogt het beveiligende zink niet in de pannen zelve aangebragt worden, omdat anders het zinkvitriool, hetwelk gevormd wordt, zich in de zout-oplossing zoude verspreiden. Daartoe sloot hij de hoeken der pannen door eene plank af, en goot de aldus gevormde kamers, wier bodem uit de ijzeren plaat bestond, met zink vol. Op die wijze was het zink in onmiddellijke aanraking met het ijzer, en de vloeistof sijpelde in genoegzame hoeveelheid door het hout naar het zink om de keten te sluiten; het gevormde zinkvitriool evenwel konde de zoutoplossing niet verontreinigen.

Op die wijze werd het mogelijk, de verdamping bij geringeren warmtegraad te verrigten, waardoor eene aanmerkelijke bezuiniging van brandstoffen verkregen werd.

Electrochemische theorie. De tot hiertoe behandelde verschijn- 44
selen vertoonen ons merkwaardige betrekkingen tusschen de chemische en electrische krachten. Reeds vroeger had men zonder vasten grond vermoed, dat bij de chemische verschijnselen electrische krachten werkzaam zijn konden; evenwel onderzocht men dit denkbeeld eerst nader, toen de ontleding van het water door middel der kolom van VOLTA bekend geworden was, en voornamelijk ontwikkelden DAVY en BERZELIUS hetzelve. Zij ontwierpen de *electrochemische theorie*, volgens welke de grondoorzaak der chemische verbindingen in eene electrische aantrekking gezocht moet worden. Hoezeer ook nog niet volledig bewezen is, dat chemische verwantschap en electrische aantrekking volmaakt identisch zijn, moet men echter toestemmen, dat deze theorie als een gemeenschappelijke band vele daadzaken op eene wijze verbindt, welke door de ondervinding geenzins gelogenstraft wordt.

Eveneens als zink en koper, met elkander in aanraking gebragt zijnde, tegenovergesteld electrisch worden, op dezelfde wijze worden, volgens de electro-chemische theorie, de atomen telkens van twee elementen tegenovergesteld electrisch, zoo zij met elkander in aanraking komen; om kort te gaan, alle elementen zijn volgens de boven bl[illegible] 351 opgegevene beteekenis leden der spanningsreeks. De uiterste leden dier volledige spanningsreeks zijn zuurstof en potassium, en wel vormt zuurstof het negatieve, potassium het positieve uiteinde. De volledige spanningsreeks is als volgt:

—

Zuurstof
Zwavel
Selenium
Tellurium
Stikstof
Chlorium
Bromium
Iodium
Fluorium
Phosphorus
Arsenicum
Koolstof
Chromium
Molybdaenium
Borium
Vanadinium
Wolframium
Antimonium
Tantalium
Titanium
Silicium
Osmium
Goud
Iridium
Rhodium
Platinum
Palladium

Kwikzilver
Zilver
Koper
Uranium
Bismuth
Lood
Cerium
Lanthanium
Yttrium
Cobaltum
Niccolum
IJzer
Cadmium
Zink
Waterstof
Manganium
Zirconium
Aluminium
Thorium
Beryllium
Magnesium
Calcium
Strontium
Barium
Lithium
Sodium
Potassium.

+

In deze reeks zijn alle enkelvoudige ligchamen opgenomen, en aan elk is zijne plaats aangewezen, ofschoon er in dit opzigt nog menige twijfel bestaat en de plaatsing der meeste ligchamen in de spanningsreeks slechts bij benadering, echter niet naauwkeurig bepaald is. Bij het kleinste getal dier ligchamen is die plaatsing door proeven bepaald; bij de meesten heeft men getracht dezelve uit hunne chemische betrekking op te maken.

Volgens de electro-chemische theorie zijn de atomen der elementen niet op zich zelve electrisch; zij worden zulks eerst wanneer zij met andere in aanraking zijn, en dit is de reden waarom een en hetzelfde ligchaam nu eens positief, dan weder negatief electrisch worden kan. Zoo stelt b. v. zwavel in verbinding met zuurstof het positief-electrische, in verbinding met waterstof het negatief-electrische element daar.

Wij hebben gezien, dat twee ongelijksoortige metaalplaten, met elkander in aanraking gebragt zijnde, tegenovergesteld electrisch worden, dat echter het grootste gedeelte der ontwikkelde electriciteiten aan de vlakte van aanraking gebonden blijft; dit zelfde heeft plaats bij chemische verbindingen. Indien

b. v. een deeltje zuurstof en een deeltje waterstof met elkander in aanraking komen, wordt het eerste —, het laatste + electrisch; de beide electriciteiten trekken elkander nu aan, en uit hoofde der groote nabijheid binden zij elkander bijna volkomen. Doch indien zich ook al een weinig vrije + E op het eene en — E op het andere deeltje bevindt, kan niettemin de chemische verbinding volstrekt geene teekens van vrije electriciteit geven, omdat de positieve en negatieve deeltjes gelijkmatig verdeeld zijn, en men, waar ook het ligchaam aangeraakt worde, even veel positieve als negatieve deeltjes aanraakt.

Het eerst verbinden de enkelvoudige ligchamen zich, altijd twee aan twee, tot tweeledige verbindingen. De zamengestelde ligchamen, zoo als de zuurstof-, zwavel- en chloorverbindingen, verhouden zich op dezelfde wijze tot elkander als de enkelvoudige ligchamen. Die tweeledige verbindingen der enkelvoudige ligchamen, oxyden, zwavels, chloruren enz., die zich door negatief-electrische eigenschappen kenmerken en die te gelijker tijd geschikt zijn om verbindingen eener hoogere orde daar te stellen, worden *zuren* genaamd; diegenen die in hunne verdere verbindingen het positief-electrische bestanddeel uitmaken, noemt men *zoutbases*.

Het karakter van een zuur zal over het algemeen zich sterker vertoonen, hoe nader deszelfs elementen bij het negatieve uiteinde der spanningsreeks liggen; om die reden is zwavelzuur het sterkste van alle zuren. Zuurstof stelt zuren daar met de in boven medegedeelde spanningsreeks bovenaan geplaatste ligchamen; bases met de aan het positieve uiteinde geplaatste elementen, en inderdaad is potassa de sterkste van alle bases.

Indien een en hetzelfde ligchaam zich in onderscheidene verhoudingen met zuurstof verbindt, zal de verbinding meer negatief-electrisch worden, en zal minder basische en meer zure eigenschappen aannemen, hoe meer het negatief-electrische element, de zuurstof, de overhand heeft. Zoo vormt 1 aeq. manganium, verbonden met 1 aeq. zuurstof, het mangaanoxyde, hetwelk basische eigenschappen bezit; terwijl 1 aeq. manganium + 3 aeq. zuurstof het mangaanzuur daarstellen.

De electro-chemische theorie is in haren tegenwoordigen omvang wel nog niet voldoende, om alle chemische verschijnselen volledig te verklaren, doch de op haar gegronde classificatie der ligchamen komt zeer wel overeen met derzelver verhouding en is zeer geschikt om van de chemische wetten een duidelijk denkbeeld te geven.

De electro-lytische wet. Waarschijnlijk kan er in 't geheel geen, 45
ten minste geen eenigzins sterke electrische stroom door eene vloeistof gaan, zonder dat deze doorgang van eene chemische ontleding vergezeld gaat. In iedere cel van elken galvanischen toestel heeft, zoo lang deze gesloten blijft, dusdanige ontleding plaats, en FARADAY heeft aangetoond, dat de hoeveelheid van den electrischen stroom geëvenredigd is aan de ontleding in elke cel.

Dat tusschen de leiding van den electrischen stroom door vloeistoffen en derzelver ontleding eene naauwe betrekking plaats grijpt, is wel niet te ontkennen; zelfs kan men regtstreeks beweren, dat de overgang der electriciteit door de chemische ontleding bewerkstelligd wordt. In elke cel gaat de positieve stroom van het zink uit door de vloeistof naar het koper; in dezelfde rigting echter bewegen zich ook de waterstofdeeltjes; zij zijn de dragers der positieve electriciteit, die door hen naar de koperen plaat overgebragt wordt. In der daad hebben wij gezien, dat volgens de grondstellingen der electro-chemische theorie in elk atome water de elementen juist daarom zoo vast bij een gehouden worden, omdat zuurstof en waterstof met elkander in aanraking gebragt zijnde, tegenovergesteld electrisch worden, en omdat deze tegenovergestelde electriciteiten der elementen van het water elkander wederkeerig binden. Terwijl een atome waterstof van deszelfs zuurstof gescheiden wordt, wordt ook al zijne gebonden electriciteit vrij, doch deze wordt, wanneer de waterstof zich daarentegen aan de andere zijde weder met een ander deeltje zuurstof verbindt, dadelijk weder gebonden, en op die wijze voert elk atome waterstof zijne gebondene positieve electriciteit mede, en aan de negatieve pool wordt te gelijk met de waterstof ook hare positieve electriciteit vrij.

Terwijl gewoon zink van den handel, in verdund zwavelzuur gedompeld zijnde, spoedig opgelost wordt, blijft chemisch zuiver of geamalgameerd zink in dezelfde vloeistof onaangetast. Vervaardigt men nu eene galvanische keten uit chemisch zuivere of uit geamalgameerde zinkplaten, dan kan, zoo als gemakkelijk te begrijpen is, in zoodanige keten geene ontleding van water plaats vinden, zoo lang zij niet gesloten is. Wordt echter de keten gesloten, dan begint oogenblikkelijk in elke cel de ontleding van het water; evenwel wordt slechts juist zoo veel water ontleed en zink opgelost, als tot geleiding van den circulerenden stroom vereischt wordt: bij gevolg moet de hoeveelheid van het opgeloste zink in eene volmaakt bepaalde verhouding tot dezen stroom staan. FARADAY bezigde den stroom eener dusdanige keten tot ontleding van water en bepaalde naauwkeurig de in een gegeven tijdsverloop ontwikkelde hoeveelheid knalgas. Het bleek nu, dat voor elk gewigtsdeel waterstofgas, hetwelk tusschen de pooldraden of liever de poolplaten vrij werd, in elke cel 32,3 gewigtsdeelen zink opgelost waren. De gewigten der chemische aequivalenten van waterstof en zink nu staan tot elkander als 12,48 tot 403,23 of als 1 tot 32,3. Voor elk aequivalent waterstof, hetwelk in de ontledingscel ontwikkeld wordt, moet derhalve in elke cel der keten 1 aeq. zink opgelost worden.

Indien dezelfde stroom door 4 ontledingscellen geleid wordt, van welke de eerste water, de tweede chloorzilver, de derde chloorlood, de vierde chloortin, allen echter in vloeibaren toestand, bevat, staan de hoeveelheden waterstofgas, zilver, lood

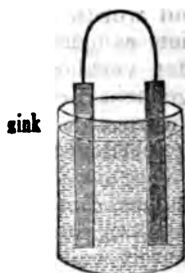
en tin, welke aan de vier negatieve polen uitgescheiden worden, tot elkander als 1 : 108 : 103,6 : 57,9, terwijl aan de positieve polen zuurstofgas en chloor, en wel in evenredigheid van 8 : 35,4 uitgescheiden worden. Soortgelijke daadzaken zijn ook ten opzigte van vele andere zamengestelde ligchamen bewezen.

Uit deze daadzaken blijkt, dat de chemische aequivalenten die relatieve gewigtshoeveelheden der ligchamen aanduiden, welke in aanraking zijnde met een en hetzelfde element, eene even sterke electrische polariteit aannemen.

46 **Theorie der standvastige ketens.** De gewone ketens van VOLTA, in welke slechts ééne vloeistof gebezigd wordt, geven, zoo als reeds aangemerkt is, in den eersten oogenblik eenen zeer sterken stroom, die evenwel zeer spoedig vermindert, terwijl in de ketens van BECQUEREL, de toestellen van DANIEL, van GROVE en van BUNSEN de stroom met gelijke sterkte voortduurt. Thans, nu wij de chemische verschijnsels in de keten hebben leeren kennen, kunnen wij ook de redenen opgeven, waarom in deze toestellen de stroom standvastig blijft, in de eerstgenoemde echter zoo spoedig vermindert.

In een vat, Fig. 412, hetwelk met eene oplossing van zinkvitriool gevuld is, dompele men eene zink- en eene koperen plaat, die van boven door een' koperdraad verbonden zijn. Ook hier zal in den beginne een vrij sterke stroom ontstaan, die weldra vermindert en eindelijk geheel ophoudt. De reden van dit ophouden blijkt spoedig, indien men den loop der ontleding gadeslaat. Het zinkoxyde der oplossing wordt namelijk ontleed, de zuurstof gaat naar de zinkplaat om nieuw oxyde te vormen, terwijl aan de andere zijde zink-metaal op de koperen plaat zich nederzet. Na verloop van eenigen tijd is de koperen plaat geheel met zink overtrokken, en nu houdt, zoo als gemakkelijk te begrijpen is, de stroom geheel op. Het koper is thans in 't geheel niet meer met de vloeistof in aanraking; doch zink is aan beide zijden van het koper en aan beide zijden der vloeistof aanwezig. Het koper wordt daar, waar het aan de zinkplaat gesoldeerd is, negatief opgewekt; die opwekking echter kan geenen stroom te weeg brengen, omdat het nieuw ontstane zinkbekleedsel eenen volmaakt gelijken tegenstelden stroom verwekt.

Fig. 412.



Nemen wij nu in plaats van eene oplossing van zinkoxyde verdund zwavelzuur, dan wordt het water der vloeistof, die zich tusschen de zink- en de koperen plaat bevindt, ontleed. In plaats dat zich in het vorige geval zink aan de koperen plaat nederzette, wordt hier thans waterstof vrij; de koperen plaat wordt met eene laag waterstof overtrokken, die echter met het koper niet in zoo innige verbinding komt als in het voorgaande geval, en bij gevolg ook niet zoo volledig de aan-

raking der vloeistof met de koperen plaat kan beletten, als daar plaats vond. Een volmaakt ophouden van den stroom is derhalve hier niet mogelijk; evenwel veroorzaakt deze afscheiding der waterstof, die volgens de proeven van BUFF in de spanningsreeks nog beneden het zink staat, op volmaakt dezelfde wijze eene verflaauwing van den stroom, als te voren door de afzetting van het zink bewerkt was.

Heeft men dus eenmaal de oorzaak, die de verflaauwing van den stroom in gewone ketens veroorzaakt, juist leeren kennen, alsdan blijkt gemakkelijk, op welke wijze dusdanige verflaauwing vermeden kan worden; men behoeft namelijk slechts eene inrigting daar te stellen, waardoor de afscheiding der waterstof aan de koperen of platina-platen belet wordt, zoò dat deze platen steeds op dezelfde wijze met de vloeistof in aanraking blijven.

In de keten van BECQUEREL en van DANIEL zet zich aan de koperen plaat niet waterstof maar koper-metaal aan, en blijft aldus altijd eene oppervlakte van zuiver koper met de vloeistof in aanraking. In de batterij van GROVE echter is het platina, in die van BUNSEN de kool van eene laag salpeterzuur omgeven; dit salpeterzuur nu belet de afscheiding der waterstof aan het platina of aan de kool, want de uitgescheidene deeltjes waterstof worden oogenblikkelijk bij hun ontstaan ook weder geoxydeerd, doordien er salpeterig zuur gevormd wordt.

47 Het is hier wel de meest geschikte plaats om iets aangaande de verschillende theoriën te zeggen, die men ter verklaring van de electrische verschijnselen der kolom uitgedacht heeft, daar deze theoriën juist tegenwoordig het onderwerp van belangrijke verschillen tusschen onderscheidene geleerden uitmaken.

De oudste theorie is de door VOLTA uitgedachte *contact-theorie*, volgens welke de onderlinge aanraking van ongelijksoortige metalen de eenige bron der electriciteit van de kolom is. Bij voorkeur heeft VOLTA de werkingen van de spanning der kolom nagegaan, en deze worden ook door zijne theorie het meest voldoende verklaard. Op de chemische verschijnselen sloeg hij geene acht, buiten twijfel omdat hij dezelve in 't geheel niet, of slechts hoogst onvolledig kende. Dit was ook de reden, waarom hij het aandeel, hetwelk de vloeistoffen aan de werking der keten hebben, niet behoorlijk waardeerde, dat hij dezelve eenvoudig slechts als geleiders en niet tevens als electromotoren beschouwde.

Nadat nu de chemische werkingen der kolom bekend geworden en naauwkeuriger onderzocht waren, was de contact-theorie van VOLTA niet meer voldoende. Derhalve moest dezelve of verbeterd en verder uitgebreid worden, om ook de nieuw ontdekte daadzaken te omvatten, of men moest haar geheel laten varen, en eene geheel nieuwe hypothese opstellen. Beide wegen zijn ingeslagen, en wel beide door uitstekende natuurkundigen.

De tegenstanders der contact-theorie, onder welke FARADAY wel voor alle anderen mag genoemd worden, beschouwen de chemische werkingen, welke de vloeistoffen op de metalen uitoefenen, als de bron van den electrischen stroom der keten.

Door zijne meeningen kreeg FARADAY tevens aanleiding om nieuwe benamingen in te voeren. Zoo noemde hij de polen „electroden", wegen waar langs de electrische stroom in de vloeistof, die ontleed moet worden, geraakt, en wel noemde hij de positieve pool *anode*, de negatieve *kathode*. De bestanddeelen van den electrolijt (van het ontlede ligchaam) heeten volgens FARADAY „*ionen*", en wel is het *kation* dat element, hetwelk aan de kathode, *anion* daarentegen dat, hetwelk aan de anode uitgescheiden wordt.

Het behoeft ons niet verwonderen, dat er zulk een verschil van meeningen aangaande de bron der electriciteit van de keten heerscht, zoo men bedenkt, hoe weinig ons van den eigenlijken aard der electriciteit bekend is. Immers, wij weten omtrent het ontstaan der electriciteit door wrijving naauwelijks iets meer dan de eenvoudige daadzaak. Dat ten opzigte van het galvanismus een verschil in meeningen ontstaan konde, is klaarblijkelijk daarin gelegen, dat VOLTA geene acht geslagen had op den invloed der scheikundige werking. Dit gemis of liever deze eenzijdigheid konde niet lang onopgemerkt blijven. Terwijl echter vele geleerden het belang van dien invloed poogden aan te toonen, vervielen zij gedeeltelijk in het andere uiterste; zij schreven aan de scheikundige werking alles toe; zij sloegen in 't geheel geene acht meer op de deugdelijk bewezen daadzaken, die den grondslag der contact-theorie uitmaken; eenigen zelfs gingen zoo ver, dat zij de proeven van VOLTA, betwijfelden of, om ze te verklaren, de oxydeerbaarheid der edele metalen te baat namen.

De aanhangers der beide meeningen gaven zich alle mogelijke moeite om bewijzen voor de juistheid hunner stelling aan te voeren, en aan deze bemoeijingen hebben wij voor het grootste gedeelte de veelvuldige uitbreidingen te danken, welke de leer van het galvanismus ondergaan heeft. Vooral komt aan FECHNER de verdienste toe, dat hij de juistheid der proeven van VOLTA buiten allen twijfel gesteld en de beschouwingen over de opwekking van electriciteit van verschillende metalen juister bepaald heeft. FARADAY daarentegen heeft aangetoond, dat galvanische stroomen ook zonder onderlinge aanraking van ongelijksoortige metalen ontstaan kunnen; dat de chemische ontleding der vloeistof van de kolom evenredig is aan de hoeveelheid van den electrischen stroom; dat derhalve deze ontleding in een allernaauwst verband staat met de vorming van den stroom in de hydro-electrische keten.

Dan vermits eene theorie van het galvanismus zoo mogelijk *alle* verschijnsels der keten omvatten moet, zal de

waarheid wel moeijelijk bij de uitersten van beide partijen te vinden zijn. Voor het standpunt, waarop tegenwoordig de wetenschap staat, past welligt het best eene gewijzigde contact-theorie, zoo als zij boven ontvouwd werd; want op die wijze kunnen de onderscheidene verschijnsels der keten het best onder een algemeen gezigtspunt vereenigd worden.

48 **Magnetische werkingen van den galvanischen stroom.** Reeds langen tijd wist men, dat onder zekere omstandigheden sterke electrische ladingen de magneetnaald kunnen aandoen. Men had b. v. waargenomen, dat op schepen, die door den bliksem getroffen waren, de compasnaalden hunne eigenschap verloren om den weg van het vaartuig aan te duiden. Onderscheidene natuurkundigen beproefden zoodanige verschijnsels door de ontlading van Leidsche fiesschen te weeg te brengen, en inderdaad was het hun ook gelukt, den magnetischen toestand van zeer kleine naalden te veranderen, hetzij door de vonk in de nabijheid der naald te doen overspringen, hetzij door de ontlading door de naald zelve te laten gaan. Al deze proeven echter gaven geene regelmatige uitkomsten, en men vergenoegde zich met aan te nemen, dat de electrische slag op de magneetnaald ten naastenbij eveneens werkt als de slag met eenen hamer. Later deed men nieuwe proeven met de galvanische electriciteit, welke evenmin tot eenige uitkomst geleidden. In het jaar 1820 eindelijk ontdekte OERSTED, Hoogleeraar te *Koppenhagen*, een middel om de electriciteit zeker en bestendig op eenen magneet te laten inwerken. Hij opende daardoor voor de geleerden van alle landen een nieuw wijduitgestrekt veld ter nasporing, en nimmer welligt zag men in korten tijd de wetenschap met zoo vele nieuwe waarheden verrijkt.

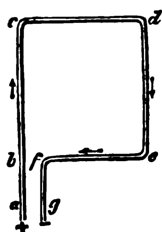
Indien de electriciteit op het magnetismus zal werken, moet zij in beweging zijn. De in rust zijnde electriciteit in den staat van sterke spanning oefent geene werking op de magneetnaald uit, wel echter een aanhoudende electrische stroom.

Inderdaad, wanneer men in de nabijheid der sluitingsdraden eener kolom, terwijl de electrische stroom er door gaat, eene vrij opgehangen magneetnaald brengt, wijkt zij af. Dit was de eerste proef van OERSTED, en men moet zich wezenlijk verwonderen, dat bij de vele proeven, die men met de kolom nam, niet reeds voor langen tijd toevallig dusdanige waarneming gedaan was.

De bedoelde proef aangaande de inwerking van eenen galvanischen stroom op de naald kan men op volgende wijze verrigten. Een eenigzins sterke koperdraad wordt in dier voege gebogen, dat hij een vierkant vormt, welks zijde ongeveer 8 tot 10 duim lang zijn kan. De beide uiteinden van den draad *a b* en *f g*, Fig. 413, dompele men nu in de kwikzilverbakjes eener galvanische batterij van groote oppervlakte, b. v. in de bakjes van den toestel Fig. 400, of verbinde dezelve

met de polen van den toestel van BUNSEN en bevestige ze op een of andere wijze zoodanig, dat het vlak van het quadraat in het vlak van den magnetischen meridiaan valt. Indien wij aannemen, dat het einde van den draad *a b* in het positieve kwikzilverbakje gedompeld is, dan circuleert de stroom in dier voege als de pijltjes aanwijzen. Van *b* tot *c* stijgt hij omhoog, van *c* tot *d* beweegt hij zich horizontaal in de rigting van het zuiden naar het noorden in den magnetischen meridiaan, van *d* tot *e* daalt hij en beweegt zich eindelijk weder in eene horizontale lijn van het noorden naar het zuiden in het gedeelte *e f* van den draad.

Fig. 413.



Indien men nu eene magneetnaald juist boven het gedeelte *c d* van den draad houdt, zoude zij, indien er geene inwerking van den stroom op de naald plaats vond, evenwijdig met den draad *c d* blijven; doch de stroom doet de naald afwijken en wel in dier voege, dat de zuidpool (d. i. de naar het noorden gerigte) oostwaarts van den magnetischen meridiaan te liggen komt. Houdt men echter de naald onder het gedeelte *c d*, dan wijkt de naar het noorden gekeerde punt der naald naar het westen af.

Aan het gedeelte *e f* van den draad, in hetwelk de stroom zich in eene rigting beweegt, welke aan die van den stroom in *c d* evenwijdig doch tegenovergesteld is, heeft de omgekeerde werking plaats. Indien namelijk de naald regt boven *e f* gehouden wordt, heeft er eene westelijke, indien zij er onder gehouden wordt, eene oostelijke afwijking plaats.

In den beginne viel het moeijelijk om met weinig woorden de betrekkingen tusschen de rigting van den stroom en die der afwijking uit te drukken. Deze moeijelijkheden heeft AMPÈRE op eene zeer vernuftige wijze opgelost. Hij heeft volgenden regel aangegeven om ten allen tijde de rigting der afwijking te bepalen. Men verbeelde zich dat in den draad een klein beeldje van eenen mensch zóó ingevoegd is, dat de positieve stroom bij de voeten inkomt en bij het hoofd er uitgaat; wanneer dit beeldje het gezigt naar de naald keert, wijkt de zuidpool der naald (het noordelijk uiteinde) altijd naar de linker zijde af.

In het gedeelte *c d* van den draad ligt het beeldje horizontaal, het hoofd naar het noorden, de voeten naar het zuiden gekeerd. Wordt de naald boven den draad gehouden, dan moet hetzelve op den rug liggen, om het gezigt naar de naald te kunnen keeren; wanneer het beeldje zóó ligt is deszelfs linker zijde de oostelijke. Wordt de naald onder den draad gehouden, dan moet deszelfs gezigt naar beneden gekeerd zijn en nu wordt deszelfs linker zijde de westelijke.

Voor het gedeelte *e f* zijn de voeten van het beeldje naar het

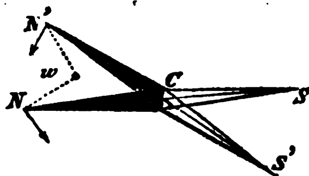
noorden, het hoofd naar het zuiden gekeerd; wanneer het op den rug ligt is derhalve de linker zijde de westelijke, indien het voorover ligt de oostelijke.

Indien een horizontale stroom, die zich in de rigting van den magnetischen meridiaan beweegt, alleen op de naald werkte, zoude zij zich regthoekig op dien meridiaan plaatsen; behalve den stroom echter werkt ook nog de aardmagneetkracht, welke de naald in den meridiaan poogt terug te voeren. Onder den invloed dier beide krachten zal de naald derhalve eenen tusschen beide liggenden stand aannemen; zij zal met den magnetischen meridiaan eenen hoek maken, die des te grooter is, dus eenen regten hoek des te meer nabij komt, hoe grooter de kracht van den stroom in vergelijking van de magnetische kracht der aarde is.

De verticaal gerigte stroom in *b e* en in *d e* oefent insgelijks eene afwijking te weeg brengende werking op de naald uit, en de rigting dier afwijking vindt men mede naar den regel van AMPÈRE. Men verbeelde zich slechts het loodregt staande beeldje naar het noorder einde gekeerd, dan moet dit noorder einde zich naar de linker zijde wenden. Hierbij moet men echter niet vergeten, dat voor eenen om hoog gaanden stroom hetzelve op de voeten, voor eenen nedergaanden op het hoofd staan moet.

Uit dezen regel van AMPÈRE volgt, dat een en dezelfde verticale stroom het noorder einde der naald dan eens aantrekt, dan weder afstoot, naarmate deze pool zich aan de eene of andere zijde van den draad bevindt. In Fig. 414 verbeelde *N S* eene horizontale naald, van boven gezien, *N* zij het noordereinde derzelve, *w* een verticale draad, die, daar dezelve van boven gezien wordt, natuurlijk zich als een punt voordoet. Gaat nu een positieve stroom van onderen naar boven door den draad, dan moet men zich het beeldje als overeind staande voorstellen. Indien echter dit overeind staande beeldje met het gezigt naar *N* en de pool *N* in betrekking tot deze figuur naar de linker zijde gedraaid wordt, dus zoo als de pijl zulks aanwijst, dan wordt de naald klaarblijkelijk door den draad afgestooten. Doch indien de naald zich in *N' S'* bevond, zoude zij klaarblijkelijk door den draad aangetrokken worden.

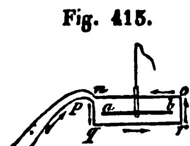
Fig. 414.



49 **De multiplicator of de galvanometer.** Korten tijd nadat OERSTED zijne belangrijke ontdekking gedaan had, vervaardigde SCHWEIGGER zijnen multiplicator, die ten doel heeft om de electromagnetische werking van den stroom te versterken. Dit werktuig is wezenlijk zoo gevoelig, dat het dienen kan om de zwakste electrische stroomen te ontdekken. Inderdaad werken alle deelen van den stroom, die in de rigting der pijlen den langwer-

pigen regthoek *p q r o n*, Fig. 415, doorloopt, op eene en dezelfde wijze op de naald *a b*, die in een horizontaal vlak beweegbaar is. Wanneer *a* het zuideinde, *b* het noordeinde is, dan poogt de stroom op alle punten de naald zoodanig te doen draaijen, dat *b* voor het vlak der figuur naar voren, *a* daarentegen naar achteren geplaatst wordt.

Fig. 415.



Het onderste gedeelte van den draad ondersteunt dus de werking van het bovenste, eveneens als de stroom in de gedeelten *p q* en *r o*. Een tweede stroom van dezelfde sterkte, die zich in dezelfde rigting om de naald beweegt, zal eene even groote werking te weeg brengen als de eerste, op dezelfde wijze een derde, een vierde enz. Indien derhalve om de naald een draad in 100 windingen heengaat, door al welke dezelfde stroom loopt, moet dezelve eene 100 maal grootere werking te weeg brengen dan eene enkele winding. De stroom mag evenwel zich niet zijdelings van de eene winding tot de andere voortplanten, maar moet in de lengte door den geheelen draad heenloopen, zoo dat hij werkelijk herhaaldelijk om de naald heen geleid wordt. Ter bereiking van dit oogmerk neemt men eenen koperdraad van 15 tot 20 el lengte, welke met zijde digt omwonden is. Dezen draad spant men vervolgens op een regthoekig houten of metalen raam. De beide uiteinden van den draad des multiplicators blijven vrij, om ze met de polen der galvanische kolom in verbinding te kunnen brengen. De naald wordt aan een enkelvoudig ongesponnen zijden draadje opgehangen en de geheele toestel door eene glazen klok tegen de trekking der lucht beschut. Indien men eene proef wil nemen, rigt men het raam zoodanig, dat het vlak der windingen met den magnetischen meridiaan zamenvalt; de naald bevindt zich dan insgelijks in het vlak der windingen, zoo lang geen stroom door dezelve gaat; zoodra dit echter plaats grijpt, wijkt de naald des te meer af, hoe sterker de stroom is.

Deze multiplicator is reeds zeer gevoelig. Nobili heeft denzelven echter nog veel gevoeliger gemaakt, door in plaats van eene naald een stelsel van twee te bezigen, wier polen tegenovergesteld gerigt zijn, gelijk in Fig. 416 en duidelijker in Fig. 417 voorgesteld is. Bij dusdanig stelsel van twee naalden is het rigtend vermogen der aardmagneet-kracht buitengemeen gering; want zij bedraagt slechts het verschil der krachten, waarmede de aardmagneet-kracht elke afzonderlijke naald poogt te rigten. Indien beide naalden volmaakt gelijk en juist even sterk gemagnetiseerd waren, dan zoude

Fig. 416.

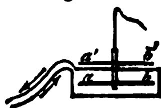
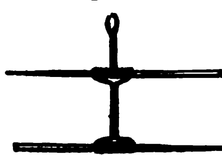


Fig. 417.



de rigtende kracht, welke de aarde op het stelsel uitoefent, gelijk nul zijn. De eene naald nu hangt binnen, de andere boven de windingen, beide worden dus door den stroom naar dezelfde zijde gedraaid. Een dusdanige toestel is allergevoeligst.

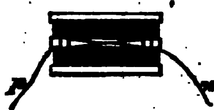
Om de naalden op eene vaste wijze te verbinden, steekt men beide door eenen volmaakt regten stroohalm, of men bevestigt ze aan eenen zeer dunnen draad, zoo als in Fig. 417 voorgesteld is.

De bovenste naald beweegt zich boven eenen in 360 graden verdeelden cirkel. De lijn die 0 en 180° verbindt, wordt in den magnetischen meridiaan geplaatst. Indien nu geen stroom door de windingen gaat, wijst de naald op 0°. Met toenemende sterkte van den stroom wordt de afwijking der naald aanmerkelijker; evenwel is de sterkte van den stroom niet evenredig aan den hoek van afwijking.

Fig. 418.



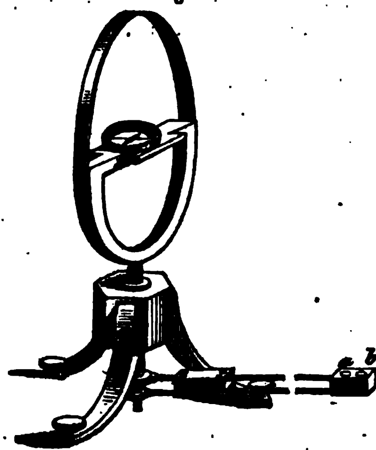
Fig. 419.



De rigting van de afwijking der naald bepaalt de rigting van den stroom. Fig. 418 stelt eenen volledigen galvanometer en Fig. 419 het raam met de draadwindingen van boven gezien voor.

50 **De tangenten-boussole.** Indien men sterkere stroomen bezigt, is het niet noodig eene astatische naald aan te wenden en zoo vele draadwindingen zoo digt om de naald heen te leiden. Daardoor echter is het mogelijk werktuigen te vervaardigen, bij welke de hoek van afwijking in eene enkelvoudige verhouding tot de sterkte van den stroom staat. De eenvoudigste en doelmatigste toestel tot meting van sterkere stroomen is de zoogenaamde *tangenten-boussole*, welke in Fig. 420 voorgesteld is. De stroom wordt door eenen cirkelvormigen loodregt geplaatsten koperen ring om de naald heen geleid, die zich in het midden van dien cirkel bevindt en zeer klein is in vergelijking van deszelfs middellijn. De stroom wordt daarhenen geleid door eenen hollen koperen cilinder, welken hij in den verma...

Fig. 420.



ring, aan zijn eene einde namelijk overgaat; het andere einde van den ring gaat over in eene koperen staaf, die midden door den hollen cilinder naar beneden loopt, zonder daarmede in geleidende verbinding te staan. De stroom kan derhalve door den hollen koperen cilinder opklimmen, op den koperen ring overgaan, kan dien in zijne geheele lengte doorloopen, en weder terug keeren door den koperen staaf, die zich geisoleerd in het midden van den cilinder bevindt.

De toestel wordt zoodanig gesteld, dat de koperen ring in het vlak van den magnetischen meridiaan geplaatst is; natuurlijk ligt dan de naald in het loodregte vlak van den ring, en wijst op het nulpunt der schaal; maar zoodra er een galvanische stroom door den koperen ring heengaat, zal de naald afwijken, en hierbij is de sterkte van den stroom evenredig aan den trigonometischen tangent van den hoek van afwijking. Hiervan is ook de naam van het werktuig afgeleid.

Kracht van de galvanische keten. Het werkzame beginsel, hetwelk 51
zich bij de verschijnselen van het galvanisme openbaart, is niets anders dan de electriciteit, zoo als ze ons door de electriseermachine en den electrophoor wordt geleverd; doch hier is het de electriciteit in beweging, welke wij daar in rust zagen; hier zien wij bewegingsverschijnselen, daar die van drukking; hier hebben wij eene rijke en ginds eene arme bron van electriciteit. De juiste verhouding zal welligt beter worden begrepen uit de navolgende vergelijking: Wij kunnen namelijk de electriseermachine vergelijken bij eene bron, die slechts weinig water levert, maar op eenen hoogen berg is gelegen. Dit water kan men opvangen in eene naauwe buis, die tot aan het dal loopt en van onder gesloten is. De wanden van deze buis moeten natuurlijk onder eene sterke drukking staan, en vooral aan het onderste einde, niettegenstaande de hoeveelheid vocht in de buis niet zoo groot is. Indien er nu aan het onderste einde eene opening is, met eenen klep, die door eene vêer of door een gewigt gesloten wordt gehouden, dan zal die uitwendige drukking, wanneer het water in de buis blijft stijgen, en daardoor steeds sterker drukking uitoefent, eindelijk niet meer voldoende zijn, om hieraan weerstand te bieden. De klep zal dan worden geopend en het water met geweld daaruit stroomen; maar hierbij daalt de kolom van het water in de buis; de uitwendige drukking krijgt dan weder het overwigt en sluit de opening. Langzamerhand raakt nu de buis weder gevuld, en na verloop van eenigen tijd is het water weder zoo hoog gestegen, dat het op nieuw den klep kan openen.

Bij de electriseermachine is de conductor gelijk te stellen aan de buis; hierin hoopt zich de electriciteit op. Brengt men bij het eene uiteinde van den conductor eenen geleider, b. v. eenen vingerknokkel, dan zal hier de grootste ophooping van electriciteit plaats grijpen; zij streeft wel, om op den vingerknokkel over te springen, maar wordt hierin verhinderd door de luchtlaag

tusschen den conductor en de hand: deze luchtlaag is te vergelijken met het gewigt, hetwelk den klep gesloten houdt. Eerst nadat de electriciteit op den conductor tot eenen zekeren graad is opgehoopt, wordt de weêrstand overwonnen, de electriciteit breekt door de luchtlaag heen, en de conductor wordt gedeeltelijk ontladen. Brengt men den vinger nog nader bij den conductor, dan wordt de weêrstand, welken de electriciteit voor zijnen overgang ondervindt, nog geringer, hetgeen men kan vergelijken met eene vermindering van de uitwendige drukking op den klep van de buis.

Indien de opening aan het onderste einde van de buis niet door eenen klep was gesloten, dan zou het water in dezelfde hoeveelheid uit de buis stroomen, in welke het door de bron werd geleverd, en hiermede was dan de ophooping van het water in de buis, en de drukking die het op de wanden daarvan uitoefent, voorkomen. Daar evenwel de bron slechts weinig water geeft, zal dit ook maar in geringe hoeveelheid uit de opening vloeijen; en het water, hetwelk, in de buis opgehoopt zijnde eene zoo groote drukking kon uitoefenen, zal nu, daar het vrij kan wegvlieten, ter naauwernood eenig merkbaar mechanisch effect te weeg kunnen brengen.

Met dit vrije afvloeijen van het water kan men het geval vergelijken, dat de conductor met den grond of met het wrijfwerktuig in geleidende verbinding staat. Alle spanning, alle ophooping van electriciteit op den conductor, houdt op; met den dunsten draad kan men reeds al de electriciteit volkomen van den conductor afleiden, en deze vrijelijk wegstroomende electriciteit kan naauwelijks een spoor te weeg brengen van die vermogende uitwerkselen, welke wij aan galvanische toestellen waarnemen.

De galvanische toestellen gelijken op eene zeer rijke bron, die echter slechts een gering verval heeft, en wiens water in wijde kanalen vrijelijk kan wegstroomen. De groote hoeveelheid van het stroomende water oefent slechts eene kleine drukking uit op de wanden der kanalen, maar zij is in staat, om mechanische uitwerkselen voort te brengen, raderen in beweging te zetten enz.

Wanneer men eene groote Leydsche flesch door middel van eenen dunnen draad ontlaadt, dan wordt deze, gelijk wij reeds vroeger gezien hebben, gloeijend, omdat er op eens eene tamelijk groote hoeveelheid electriciteit door hem heen gaat.

De werking is echter slechts voorbijgaande; want in een enkel oogenblik gaat al de electriciteit, die men door langdurig draaijen van de machine in de flesch had opgehoopt, door den dunnen draad heen. Iets geheel anders neemt men waar, wanneer men de beide polen van eenen uit groote platen daargestelden galvanischen toestel door middel van eenen dunnen korten draad vereenigt. De draad wordt gloeijend, zelfs dan *nog*, wanneer hij veel dikker is dan die, welken men door den

ontladingsslag van de Leydsche flesch aan het gloeijen brengt; doch dit gloeijen is hier niet voorbijgaande, maar blijft aanhouden, zoo lang de stroom door den draad heen gaat; in ieder oogenblik levert derhalve de galvanische toestel veel meer electriciteit, dan men door langdurig draaijen van de electriseermachine in de Leydsche flesch heeft kunnen ophoopen.

Laat ons nu onderzoeken, van welke omstandigheden de hoeveelheid der electriciteit afhankelijk is, die door eenen galvanischen toestel kan worden geleverd.

Wanneer twee metalen elkander slechts op enkele punten aanraken, dan is dit reeds eene rijke bron van electriciteit.

Wij hebben echter gezien, dat men geenen galvanischen toestel kan daarstellen zonder die ligchamen, welke niet tot de spanningsreeks behooren. De galvanische ketens zijn zamengesteld uit metalen en vloeistoffen. Vloeistoffen zijn echter geene goede geleiders der electriciteit, en staan ten dien opzigte verre achter de metalen. De vochtige lagen, die tusschen de metaalplaten der kolom van VOLTA zijn gelegen, zijn niet in staat, om al de electriciteit door te laten in denzelfden tijd, in welken zij door de electromotorische kracht in de kolom kan worden ontwikkeld. Natuurlijk is dus de hoeveelheid electriciteit, welke in eenen zoodanigen toestel kan circuleren, afhankelijk van den diameter der lagen van het vocht; de diameter van deze lagen nu wordt in de kolom van VOLTA bepaald door den diameter der platen, en men kan dus door vergrooting van de platen de hoeveelheid electriciteit vermeerderen. Voor de juistheid van deze meening, zullen wij later proefondervindelijke bewijzen bijbrengen.

Tegelijk met de toename in grootte der platen in de kolom van VOLTA, wordt echter ook de aanrakingsvlakte van koper en zink vergroot; maar dat dit niet de oorzaak is van vermeerdering der hoeveelheid van den electrischen stroom, blijkt reeds daaruit, dat de in fig. 400 en 402 afgebeelde toestellen, bij welke de diameter der laag vloeistof tusschen het koper en zink zeer groot is, toch eene aanmerkelijke hoeveelheid electriciteit leveren, niettegenstaande de beide metalen elkander met eene slechts betrekkelijk kleine oppervlakte aanraken, namelijk daar, waar de koperdraad is vastgesoldeerd aan den zinkcilinder of aan de zinkplaat.

Al datgene derhalve, wat den doorgang der electriciteit door de geleidende vloeistof bevordert, heeft onmiddellijk eene vermeerdering der hoeveelheid electriciteit ten gevolge. Hoe korter de weg is, dien de E. door de vloeistof heen moet afleggen, hoe dunner dus de laag vloeistof tusschen de metaalplaten is, des te meer E. kan er in den toestel circuleren. Hoe beter derhalve de vloeistof geleidt, en hoe nader de metaalplaten in het vocht bij elkander staan, des te grooter is de hoeveelheid van den electrischen stroom.

Onderzoeken wij nu, welken invloed het aantal der paren

van platen heeft op den galvanischen stroom. Denken wij ons eene zinkplaat, hierop eene met vocht doortrokken schijf, op deze eene koperen plaat, en de beide platen door een koperdraad verbonden, dan hebben wij eene gesloten enkelvoudige galvanische keten. De weêrstand, dien de stroom in den vochtigen geleider heeft te overwinnen, is oneindig grooter dan de weêrstand, welken de draad aan de circulatie van den stroom biedt: de toestel kan veel meer electriciteit leveren, dan de vochtige geleider laat doorgaan. Verdubbelen wij nu het aantal der elementen, terwijl wij daarbij de bovenste koperplaat weder verbinden met de onderste zinkplaat, dan hebben wij eene keten van twee elementen. Het is nu de vraag, of er in dezen toestel eene grootere hoeveelheid electriciteit kan circuleren, dan in de boven beschouwde enkelvoudige keten?

In de enkelvoudige keten werd de hoeveelheid der circulerende E beperkt door den weêrstand van den vochtigen geleider; deze weêrstand is nu door de tweede vochtige schijf verdubbeld; maar daarentegen is ook de spanning, welke den electrischen stroom doordrijft, nog eens zoo groot geworden, en er zal dus in beide gevallen even veel electriciteit circuleren. De vermeerdering van het aantal platen draagt derhalve bij volkomene sluiting van de keten niets bij tot vermeerdering der hoeveelheid circulerende E; en bij volkomene sluiting is het dus geheel hetzelfde, of men een of meer paren van platen bezigt. Bij onvolkomene sluiting echter, d. i. wanneer men tusschen sluitdraden eenen slechten geleider invoegt, moet men eene keten van onderscheidene paren bezigen, omdat er eene grootere electrische spanning noodig is, om als het ware den doorgang door den slechten geleider met geweld te bevorderen. De *intensiteit* van den galvanischen stroom is geëvenredigd aan het aantal der paren van platen.

52 **De wet van Ohm.** De boven vermelde verhouding der sterkte van den stroom tot de elementen van de keten, zijn door OHM uitgedrukt in naauwkeurige formulen. Door de, naar zijnen ontwerper benoemde, *wet van* OHM, die in de hoofdzaak hieronder nader zal worden ontwikkeld, hebben eerst de onderzoekingen omtrent de stroomsterkte eenen zekeren grondslag gekregen.

Opdat een electrische stroom door eenen geleider kan heengaan, is het volstrekt noodzakelijk, dat de electriciteit op onderscheidene plaatsen van den geleider eene ongelijke spanning bezit. Indien men b. v. den conductor van eene electriseermachine met eenen draad aanraakt, dan stroomt de electriciteit enkel daarom langs den draad weg, omdat zij, door de sterke spanning der electriciteit op den conductor, door den draad wrdt heengedreven, omdat er dus aan het eene einde van gesldraad, namelijk daar, waar hij den conductor aanraakt, kortsterkere ophooping van electriciteit plaats grijpt dan aan nog, dere einde; immers, als men twee gelijke, even sterk

met dezelfde electriciteit geladen conductoren door eenen draad verbond, dan zou er geen stroom kunnen ontstaan.

Indien de kolom van VOLTA geisoleerd is, dan verkeeren de tegenovergestelde electriciteiten aan de polen in den toestand van spanning, en deze toestand kan onmogelijk geheel en al ophouden, wanneer de beide polen door eenen geleider worden verbonden, want er kan geene positieve E van den positieven pool wegstroomen, zoo hier niet eene grootere ophooping dezer E heeft plaats gegrepen; er is eene zekere spanning der E, als het ware een zekere drukking noodig, om eene beweging te doen ontstaan, om den weêrstand ter geleiding te overwinnen in den geleider, door welken de stroom moet heen gaan.

De hoeveelheid E, welke door eenen geleider stroomt, is dus inderdaad afhankelijk van twee omstandigheden: vooreerst van den weêrstand ter geleiding, den leidingsweêrstand, en ten tweede van de spanning, de drukking, welke de electriciteit door den geleider heen drijft; men ziet nu gemakkelijk in, dat de hoeveelheid E, welke door eenen geleider in eenen bepaalden tijd heen gaat, in omgekeerde rede staat tot den leidingsweêrstand, en in regte rede tot de electrische spanning, welke den stroom door den geleider heen drijft. De spanning is hier als het ware de versnellende kracht.

De hoeveelheid E, welke door eenen geleider stroomt, de stroomsterkte, kan derhalve worden uitgedrukt door

$$\frac{E}{L},$$

wanneer door E de electrische spanning, welke den stroom verwekt, en door L de te overwinnen leidingsweêrstand wordt voorgesteld.

Laat ons nu den stroom van eene enkelvoudige gesloten kolom van VOLTA beschouwen. De spanning, welke de stroom te weeg brengt zij e, de weêrstand in de keten zelve zij λ, en die in den sluitdraad l, dan is dus de stroomsterkte

$$p = \frac{e}{\lambda + l}$$

Indien men een getal van n elementen tot eene zoodanige zuil had verbonden, dan zou de electrische spanning, welke den stroom in beweging brengt, $n\,e$ zijn, de weêrstand in de keten echter is in dezelfde mate toegenomen, want nu moet de weêrstand niet worden overwonnen in een, maar in n elementen, de leidingsweêrstand is derhalve $n\,\lambda$. Is nu de sluitdraad dezelfde als in de eenvoudige keten, dan heeft men nu de stroomsterkte

$$p' = \frac{n\,e}{n\,\lambda + l}$$

Zoo l zeer klein ware in vergelijking met λ, dan zou de

bovenstaande waardij van p al zeer digt naderen tot $\frac{e}{\lambda}$, maar dan zou ook de waardij van $p' \frac{n\,e}{n\,\lambda}$, dus ook $= \frac{e}{\lambda}$ zijn; indien derhalve de weêrstand in den sluitdraad klein is in vergelijking met den weêrstand van een enkel element, dan geeft de vermeerdering van het getal elementen in het geheel geen voordeel. Daarentegen heeft eene vermeerdering der elementen eene vermeerdering in de stroomsterkte ten gevolge, wanneer l zeer groot is, d. i. wanneer de wêerstand in den sluitdraad aanmerkelijk is.

Laat ons nu den invloed beschouwen, dien de vergrooting der oppervlakte van eene enkelvoudige keten uitoefent. De stroomsterkte van een enkel element werd boven uitgedrukt door $p = \frac{e}{\lambda + l}$; indien nu de oppervlakte van het element der kolom van VOLTA n maal grooter werd, zonder dat er overigens iets werd veranderd, dan zou dit nog maar enkel ten gevolge hebben, dat de weêrstand in de keten zelve n maal kleiner werd, omdat immers de diameter van het vocht, door hetwelk de stroom moet heen gaan, n maal grooter is geworden; in de plaats van den weêrstand λ, zou men nu dus hebben $\frac{\lambda}{n}$, en de stroomsterkte p'' zal dus zijn:

$$p'' = \frac{e}{\frac{\lambda}{n} + l},$$

of, wat hefzelfde is

$$p'' = \frac{n\,e}{\lambda + n\,l},$$

Ware l, door den weêrstand in den sluitdraad, gelijk nul, dan was de stroomsterkte evenredig aan de oppervlakte van het electromotorische element; en dat is ook nog ten naasten bij het geval, wanneer l slechts zeer klein is. De vergrooting der oppervlakte brengt derhalve dan eene vermeerdering te weeg in de stroomsterkte, wanneer de weêrstand in den sluitdraad klein is, tegenover dien in de keten.

De waardijen van de weêrstanden in de keten zelve en in den sluitdraad moeten natuurlijk worden beschouwd met betrekking tot eene en dezelfde eenheid, zoo als wij dit onmiddellijk zullen zien.

Door proeven wordt de waarheid van deze wet volkomen bevestigd.

Om aan te toonen, dat de stroomsterkte zich omgekeerd evenredig aan de lengte van den sluitdraad verhoudt, sluite men een galvanisch element (b. v. een element van BECQUEREL)

door de tangenten boussole, voege er vervolgens, naar de rij af, draden van verschillende lengte tusschen, om dan telkens de hieraan beantwoordende afwijking af te lezen.

Eene reeks van zoodanige proeven gaf de volgende resultaten:

LENGTE VAN DEN TUSSCHENGEVOEGDEN KOPERDRAAD.	WAARGENOMEN AFWIJKING.	TANGENTEN VAN DEN HOEK VAN AFWIJKING.
0 el	62°00	1,880
5	40°20	0,849
10	28°30	0,543
40	9°45	0,172
70	6°00	0,105
100	4°15	0,074

Men neemt hier in het geheel geene regelmatigheid waar, in de vermindering der stroomsterkte bij het langer worden van den draad; maar wanneer men bedenkt, dat deze draad niet de eenige hindernis van den stroom is, en dat er in den electromotorischen toestel zelven, en in de onderscheidene gedeelten der boussole, door welke de stroom heengaat, een leidingsweêrstand, dien wij *weêrstand van het element* willen noemen, moet worden overwonnen, dan is het duidelijk, dat men den weêrstand van het element gelijk kan stellen aan den weêrstand van eenen koperdraad van dezelfde dikte als de tusschengevoegde en van de nog onbekende lengte x, en derhalve zijn de aan elkander beantwoordende lengten der keten en afwijkingshoeken zoodanig, als in de onderstaande tabel is voorgesteld:

LENGTE DER KETEN.	WAARGENOMEN AFWIJKING.	TANGENTEN VAN DEN HOEK VAN AFWIJKING.
x	62°00	1,880
$x + 5$	40°20	0,849
$x + 10$	28°30	0,543
$x + 40$	9°45	0,172
$x + 70$	6°00	0,105
$x + 100$	4°15	0,074

Wanneer nu de sterkte der hydroëlectrische stroomen zich wezenlijk omgekeerd evenredig aan de lengte der keten verhoudt, dan moeten de getallen der eerste kolom zich omgekeerd evenredig aan die der laatste kolom verhouden, en dus moet

$$x : x + 5 = 0{,}849 ; 1{,}880,$$

waaruit volgt $x = 4{,}11$. Vergelijkt men op dezelfde wijze de eerste waarneming met al de volgenden, dan moet men altijd eene gelijke waardij van x krijgen; en inderdaad zijn de op deze wijze berekende waardijen van x vrij na aan elkander gelijk; men vindt namelijk, behalve de reeds berekende, 4,06, 4,03, 4,14 en 4,09 el. Het gemiddelde hieruit is, 4,08.

De weêrstand van het element is derhalve gelijk aan den weêrstand van eenen koperdraad van 4,08 el lengte, en ter dikte van den tusschengevoegden draad. Neemt men deze lengte tot grondslag aan, dan kan men, op grond van de algemeene wet, dat de sterkte van den stroom zich omgekeerd evenredig aan de lengte der keten verhoudt, gemakkelijk de afwijkingen berekenen, welke men had moeten waarnemen, en deze vergelijken met de regtstreeks waargenomen afwijkingen, zoo als dit in de volgende tabel is geschied:

LENGTE DER KETEN.	BEREKENDE AFWIJKING.	WAARGENOMEN AFWIJKING.	VERSCHIL.
4,08 el.	62°00	62°00	
9,08	40°18	40°20	+ 2′
14,08	28°41	28°30	— 11′
44,08	9°56	9°45	— 11′
74,08	5°57	6°00	+ 3′
104,08	4°14	4°15	+ 1′

Eene zoodanige overeenstemming tusschen de resultaten der waarneming en van die, welke uit de algemeene wet zijn afgeleid, laat geenen twijfel meer toe omtrent de juistheid van deze wet.

Ten bewijze, dat bij eene volkomene sluiting, d. i. bij eenen zeer kleinen weêrstand in den sluitdraad, de stroomsterkte niet vermeerdert door het getal elementen, sluite men, naar de rij af, eene keten van 1, 2, 3, 4, enz. elementen door middel van de tangenten boussole, en neme dan de daaraan beantwoordende afwijking waar. Eene reeks van zoodanige proeven gaf:

Aantal elementen.	Waargenomen afwijking.
1	69°
2	66°5
3	67°5
4	67°
5	68°
6	64°

Men ziet, dat hier inderdaad de stroomsterkte bijkans onveranderd blijft, en dat zij niet toeneemt met de vermeerdering der elementen. Dat zij niet geheel en al onveranderd blijft, is enkel daarvan afhankelijk, dat de afzonderlijke elementen niet volkomen aan elkander gelijk waren.

Indien er echter een belangrijke weêrstand moet worden overwonnen, dan wordt de stroomsterkte wel degelijk vermeerderd met het getal elementen.

Zes elementen, door de tangenten boussole gesloten, gaven na het tusschen voegen van eenen 40 el langen draad eene afwijking van 39°.

Een enkel element, door den zelfden 40 voet langen draad

in de tangenten boussole gesloten, gaf slechts eene afwijking van 11°.

Geleidings-vermogen der metalen. Bij de op bladz. 391 vermelde 53
proeven, werden draden van verschillende lengte in den sluitdraad der keten tusschen gevoegd, en hierdoor de verhouding van de stroomsterkte tot de lengte van den sluitdraad bepaald. Wanneer men nu echter even lange draden, maar van verschillende dikte, van hetzelfde metaal in den sluitdraad tusschen voegt, en steeds de beantwoordende afwijkingen van den naald der tangenten boussole waarneemt, dan vindt men uit deze proeven de verhouding van de stroomsterkte tot de dikte van de draden; men vindt namelijk : *dat de stroomsterkte in regte rede staat tot den diameter der draden*, of met andere woorden; *twee draden van hetzelfde metaal zullen eenen gelijken weêrstand uitoefenen, wanneer hunne lengten omgekeerd evenredig zijn aan hunne diameters.*

Om het geleidingsvermogen van onderscheidene metalen met elkander te vergelijken, is er geene eenvoudiger en zekerder methode, dan om den stroom van een genoegzaam sterk element door de tangenten boussole te leiden, dan draden van verschillende metalen in den sluitdraad tnsschen te voegen, en de beantwoordende afwijkingen waar te nemen.

Het geleidingsvermogen der onderstaande metalen is:

Zilver	136
Goud	103
Koper	100
Zink	28
Platina.	22
IJzer	17
Kwikzilver	2,6

d. i. een koperdraad van 100 voet lengte biedt aan eenen electrischen stroom eenen even grooten weerstand, als even dikke draden van zilver, zink, platina, ijzer enz. welke respectievelijk 136, 28, 22 en 17 voet lang zijn.

Het geleidingsvermogen der vochten is zeer klein, in vergelijking met de metalen; zoo is b. v. het geleidingsvermogen van platina 2½ millioenmaal grooter, dan dat eener oplossing van kopervitriool. Volgens de proeven van LENZ, is het geleidingsvermogen van koper 6857500 maal grooter dan dat der oplossing van kopervitriool. Het geleidingsvermogen van gedestilleerd water is slechts 0,0025 van het geleidingsvermogen dier oplossing.

Indien men den stroom van eene galvanische kolom door een vocht laat gaan, dan ondergaat de stroomsterkte eene dubbele vermindering, voor eerst omdat hierbij de aanmerkelijke weêrstand van het vocht moet worden overwonnen, en ten tweede omdat de electromotorische kracht aanmerkelijk wordt verzwakt ten gevolge der *galvanische polarisatie.*

Vergelijking van onderscheidene Volta'sche toestellen. Ten einde in 54
staat te zijn, om het uitwerksel van onderscheidene VOLTA'sche

ketens te kunnen beoordeelen; moet men bekend zijn met hunne electromotorische kracht en met den geleidingsweêrstand. Deze nu kunnen, op grond van de wet van OHM, zeer eenvoudig worden bepaald, en wel door twee metingen der stroomsterkte, de eene bij volkomene sluiting, en de andere na het tusschen voegen van eenen draad, wiens leidingsweêrstand bekend is.

Om zoodanige bepalingen met elkander te kunnen vergelijken, moet men eene bepaalde eenheid van leidingsweêrstand en stroomsterkte aannemen.— Als eenheid van den weêrstand nemen de meeste natuurkundigen tegenwoordig eenen koperdraad van een el lengte en een millemeter diameter; als eenheid van stroomsterkte eenen stroom, die, door eenen voltameter geleid, in eene minuut een kubiek centimeter knalgas levert.

De stroomsterkte wordt wel doorgaans niet bepaald met den Voltameter, maar met de tangenten boussole; doch het is gemakkelijk, om de aanwijzingen der tangenten boussole te herleiden tot de resultaten der ontleding van water. Men late daartoe eenvoudig te gelijker tijd eenen stroom gaan door eenen voltameter en door de tangenten boussole, en neme de afwijking van de laatste waar, en de hoeveelheid van het in eene minuut ontwikkelde knalgas, dan vindt men hieruit het getal, waarmede de tangent van den afwijkingshoek moet worden vermenigvuldigd, om de daaraan beantwoordende hoeveelheid knalgas (in kubieke centimeters uitgedrukt) te krijgen.

Ten einde den factor voor de reductie naauwkeurig te krijgen, zal men zich natuurlijk niet te vreden stellen met eene enkele zoodanige vergelijking, maar men zal er onderscheidene in het werk stellen, en uit deze het gemiddelde nemen.

Gesteld nu dat men, deze eenheid ten grondslag leggende, gevonden heeft, dat een element van BUNSEN, door de tangenten boussole alleen gesloten, de stroomsterkte 50 geeft, dan is

$$\frac{E}{R} = 50. \ldots\ldots 1)$$

wanneer wij door E de electromotorische kracht, door R den wezenlijken leidingsweêrstand van het element verstaan.

Na het tusschenvoegen van eenen 69 el langen koperdraad van 1 millemeter diameter daalde de stroomsterkte tot 10, dan is

$$\frac{E}{R + 69} = 10. \ldots\ldots 2)$$

uit de zamenstelling der vergelijking 1 en 2 volgt:

$$R = 17 \qquad E = 850$$

Als gemiddelde uit onderscheidene zoodanige proeven, heeft men voor de electromotorische kracht van verschillende ketens de volgende waardijen gevonden:

Ketens	van BUNSEN.	840
„	„ GRAVE.	820
„	„ DANIELL.	470
„	„ WOLLASTON.	210

Het verschil in electromotorische kracht der ketens van WOLLASTON en DANIELL komt enkel daarvan, dat de electromotorische kracht van de eerste verminderd is ten gevolge der galvanische polarisatie, welke bij de kolom van DANIELL is voorkomen, door de plaatsing van het koper in eene oplossing van kopervitriool.

De grootte der elementen en de graad van concentratie der vochten oefenen geenen invloed uit op de electromotorische kracht, maar wel op de grootte van den wezenlijken leidingsweêrstand.

VIERDE AFDEELING.

ELECTROMAGNETISMUS.

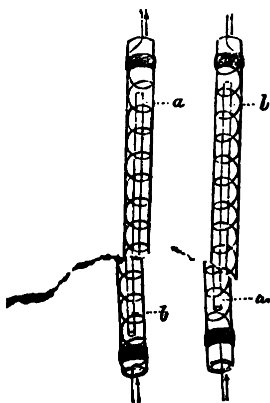
EERSTE HOOFDSTUK.

Magnetische werkingen van den stroom.

Reeds boven hebben wij gesproken over het vermogen, hetwelk de electrische stroom bezit, om de magneetnaald te doen afwijken, maar wij zijn daar, zonder verder te handelen over deze magnetische werkingen, onmiddellijk overgegaan tot de toepassing van die afwijking der magneetnaald, ten einde langs dien weg de stroomsterkte te bepalen; het navolgende hoofdstuk is nu gewijd aan de verdere beschouwing der magnetische werkingen van den electrischen stroom.

55 **Magnetiseeren door den galvanischen stroom.** De electrische stroom oefent niet alleen zijne werking uit op het vrije magnetismus, maar hij is ook in staat, om de nog verbonden magnetische vloeistoffen te scheiden. Om de werking van den stroom op week ijzer aan te toonen, behoeft men een zoodanigen draad slechts te steken in ijzervijlsel of hem daarmede te bestrooijen, onderwijl de galvanische stroom door den draad heen gaat. Het ijzervijlsel blijft aan den draad hangen, totdat de stroom wordt afgebroken. Kleine naalden van staal kunnen door middel van den galvanischen stroom blijvend magnetisch worden; maar om den stroom regt werkzaam te doen zijn, moet hij dwars om de naald worden heen geleid, zooals dit in de nevenstaande figuren het geval is. Men winde eenen koperdraad schroefsgewijs om eene glazen buis, waarin men eene stalen naald legt (fig. 421).

Fig. 421 en 422.



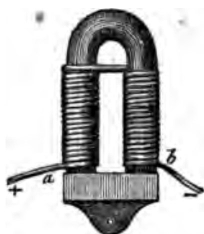
Laat men nu eenen stroom door de windingen van den draad gaan, dan wordt de naald daardoor blijvend magnetisch, en wel behoeft de stroom slechts een oogenblik door den draad heen te gaan, om de naald zoo volkomen mogelijk te magnetiseren.

Men onderscheidt *regtsgewonden* (fig. 421) en *linksgewonden* (fig. 422) schroefdraden. Regtsgewonden schroefdraden zijn die, bij welke de omwindingen eveneens verloopen als bij eenen kurkentrekker of bij eene gewone schroef.

Bij *regtsgewonden* schroefdraden ontstaat de noordpool (het zuidelijk uiteinde) der naald aan dat einde, waar de stroom intreedt; bij *linksgewondenen* daarentegen aan het einde, waar hij uittreedt. In de nevenstaande figuren is de noordpool aangeduid door *b*, en de zuidpool door *a*.

Uit week ijzer kan men door middel van den galvanischen stroom magneten daarstellen, welke alle staalmagneten in sterkte verre overtreffen. Men behoeft daartoe slechts een zwaar, hoefijzervormig gebogen stuk ijzer zoodanig te omwinden met dik koperdraad, als in fig. 423 is voorgesteld. Het koperdraad moet omwikkeld zijn met zijde, opdat de stroom niet van de eene omwinding op de andere (de windingen liggen digt naast elkander), en niet in het ijzer kan overgaan, maar den draad in zijne geheele lengte moet doorloopen. De draad is om de beide beenen van het hoefijzer in dezelfde rigting, om beide b. v. regts gewonden; en wanneer dus de positieve stroom bij *a* intreedt, dan zal er bij *a* een noordpool, bij *b* een zuidpool ontstaan.

Fig. 423.



Door middel van een anker kan men aan eenen zoodanigen magneet gewigten hangen. Een op die wijze daargestelde magneet, wiens ijzeren kern 6 — 8 Ned. duim diameter heeft, en wiens beide beenen ieder 1 tot 1, 5 voet lang zijn, kan eenen last van 800 tot 1000 ponden dragen, indien slechts de draad dik genoeg is, en er een genoegzaam sterke stroom door heen gaat. Als electromoter berigt men voor deze electromagneten enkelvoudige ketens met eene groote oppervlakte, of ook wel onderscheidene elementen van GROVE of BUNSEN; doch tot dit doel moeten dan alle zink cilinders met elkander verbonden zijn, even zoo als ook alle koolcilinders of platina platen. Met het ophouden van den stroom houdt het magnetisme op.

In fig. 424 (o. d. v. blz.) wordt een andere, voor vele proeven zeer doelmatige vorm van electromagneet voorgesteld. Wanneer men de draagkracht van dezen electromagneet wil aantoonen, plaatst men er het anker fig. 425 (o. d. v. blz.) op, in het oor van dit anker wordt een hefboom gestoken, die met zijn steunpunt op den houten standaard *a* rust, en aan wiens andere uiteinde men het noodige gewigt kan hangen.

Even zoo als men door den galvanischen stroom in week ijzer voorbijgaand sterk magnetisme kan voortbrengen, is men ook in staat, om door middel van dezen stroom staalmagneten van groote kracht daar te stellen. Een voor dit doel bijzonder geschikt toestel is de in fig. 426 (o. d. v. blz.) afgebeelde, door ELIAS ontworpen draadrol.

Een koperdraad van ongeveer 25 voet lengte en $^1/_8$ duim dikte wordt met zijde omwonden, en dan zoodanig tot eene draadrol opgewonden, als men in de figuur ziet. De hoogte van de draadrol bedraagt 1 duim, de diameter van de inwendige holte $1^1/_2$ duim. Om eene stalen staaf te magnetiseren, worden de beide uiteinden van den draad verbonden met een sterk element van VOLTA.

Terwijl er nu een sterke stroom in de windingen van den draad circuleert, steekt men de stalen staaf, welke moet worden

Fig. 424.

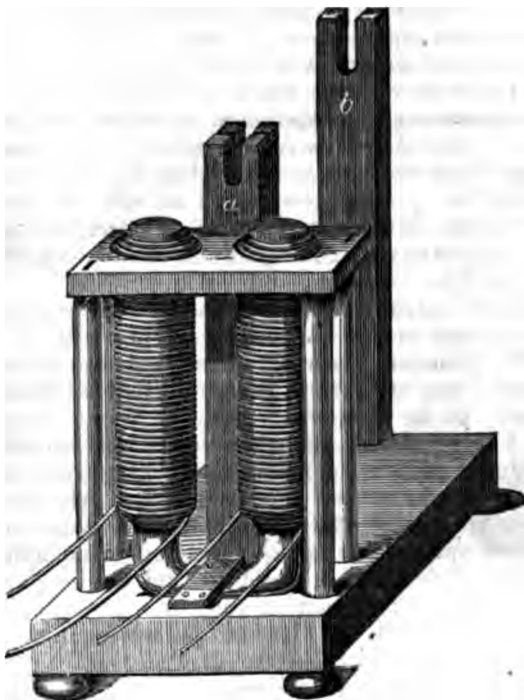
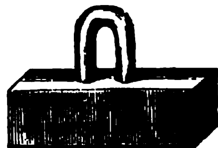
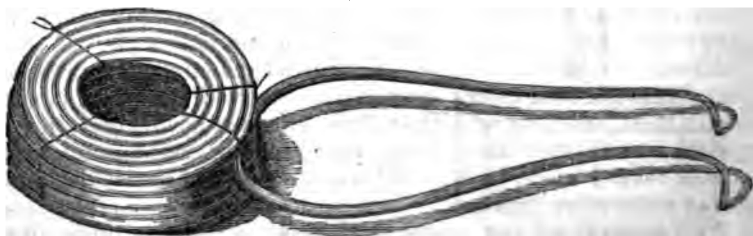


Fig. 425.



gemagnetiseerd, in de holte van de draadrol, beweegt haar tot aan hare uiteinden op en nederwaarts, en wanneer zij weder in

Fig. 426.



het midden van de rol is gekomen, wordt de keten geopend, en de staaf uit de rol verwijderd.

Het is hierbij goed, om de stalen staaf gedurende de operatie aan haar boven- en ondereinde met een stuk week ijzer te voorzien, en indien zij hoefijzervormig gebogen is, met een anker.

Door FRICK, is echter aangetoond, dat goed gehar staal op deze wijze op verre na niet zoo sterk magnetisch wordt, als door het strijken over eenen sterken hoefmagneet. Tot dit doel is vooral de in fig. 424 afgebeelde electromagneet zeer geschikt; men strijkt de eene helft van de staaf of het eene been van den hoef, die gemagnetiseerd moeten worden, 10 tot 15 maal over de noordpool, en de andere helft of het andere been even zoo vaak over de zuidpool van den electromagneet.

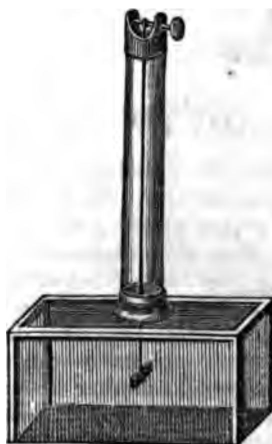
Werking van het magnetisme op alle ligchamen. Vroeger was het 57
enkel bekend, dat de magneet zijne werking uitoefende op ijzer, nikkel en kobalt, en beschouwde men alle andere ligchamen als indifferent tegenover het magnetisme. Met behulp van zeer sterke magneten is echter door FARADAY aangetoond, dat het magnetisme op *alle* ligchamen werkt, ofschoon niet op dezelfde wijze als op het ijzer. *)

Ten einde deze werking aan te toonen, plaatse men op iedere pool van den electromagneet fig. 424 een week ijzer van de in fig. 427 voorgestelde gedaante, en wel zoodanig, dat de punten daarvan naar elkander zijn toegekeerd. Op het tafeltje plaatse men de glazen kast, in fig. 428 voorgesteld.

Fig. 427.



Fig. 428.



Deze glazen kast draagt op het midden eene glazen buis, in welke een draad hangt van ongesponnen zijde, aan wiens uiteinde het te onderzoeken ligchaam is opgehangen. Men draait den draad zoodanig, dat het ligchaam juist in het midden der beide polen hangt. Zoodra nu de stroom door de windingen van den electromagneet heengaat, werken de polen op het staafje, hetwelk aan den zijden draad hangt. Indien het een staafje van ijzer is, of van een der andere magnetische ligchamen, dan plaatst het zich zoodanig, dat zijn lengte-as in de rigting komt van de lijn, welke de beide polen vereenigt; terwijl staafjes, welke uit niet magnetische ligchamen zijn vervaardigd, zich regthoekig op de rigting van deze lijn plaatsen.

Al de ligchamen, welke het laatste verschijnsel aanbieden, noemt FARADAY *diamagnetische* ligchamen. Met uitzon-

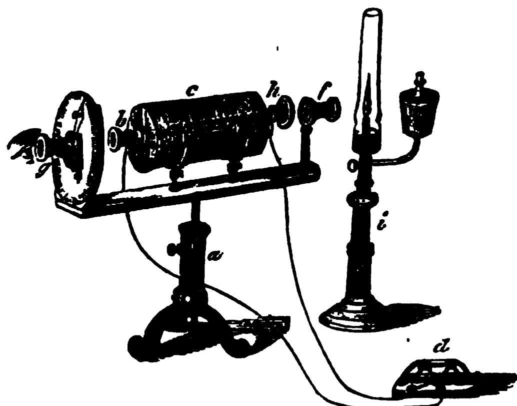
*) Vergelijk hieromtrent hetgeen op bladz. 313—315 voorkomt, en hetwelk daar door mij, dewijl het nog niet in de eerste uitgave van dit werk behandeld was, uit andere bronnen is bijgevoegd. Ofschoon er dus hier wel eene herhaling van het vroegere voorkomt, heb ik mij echter, om de duidelijke uiteenzetting van het onderwerp, niet geregtigd geacht, het in deze § voorkomende weg te laten. VERT.

dering van enkele magnetische metalen, zijn alle andere ligchamen diamagnetisch. Bijzonder sterk diamagnetisch is het bismuth.

De plaatsing die de diamagnetische ligchamen tusschen de polen van den electromagneet aannemen, is het gevolg van eene afstooting, welke de magneetpolen op hen uitoefenen. Deze afstooting kan het best worden aangetoond op de navolgende wijze: men plaatse de polen, fig. 427, zeer digt bij elkander, en hange nu aan den zijden draad een bolletje van bismuth, hetwelk men zoodanig rigt, dat het juist tusschen de beide punten der polen hangt. Zoodra men nu de keten sluit, wordt het bolletje uit zijne plaats gedreven, en een weinig ter zijde gestooten.

Wanneer men eenen electrischen stroom door menigvuldige windingen om eene doorzigtige vloeistof heenleidt, dan verhoudt deze zich onder den invloed van dien stroom op eene eigenaardige wijze tegenover gepolariseerde lichtstralen. In fig. 429 is een

Fig. 429.



toestel afgebeeld, door middel waarvan men dit verschijnsel kan waarnemen; *g* en *f* zijn twee prismen van NICHOL; *bh* is een geelkoperen buis, aan beide einden met glazen platen gesloten, en die gevuld is met het vocht, hetwelk men wil onderzoeken; deze buis is geplaatst in eene ijzeren buis, welke door den electromagnetischen spiraal *c* is omgeven. Men ziet dan door de beide prismen van NICHOL en door de met vocht gevulde buis naar de vlam van eene *Argandsche* lamp. Het oculair prisma *g* wordt vervolgens zoodanig gedraaid, dat het gezigtsveld donker is; en wanneer men nu eenen sterken galvanischen stroom door de spiraal laat heengaan, dan ziet men de vlam weder, en men moet *g* dan naar de regter of naar de linkerzijde draaijen, om de vlam weder te doen verdwijnen.

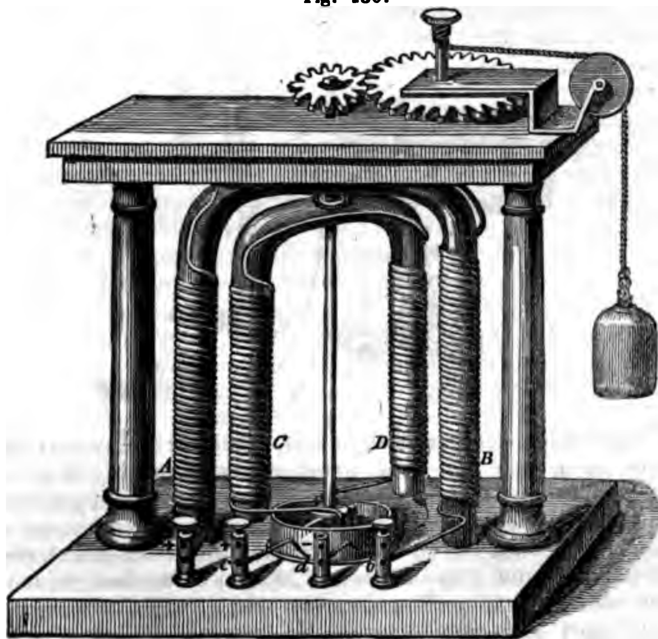
Het polarisatie-vlak van den straal wordt gedraaid naar die rigting, in welke de positieve stroom in den spiraal circuleert.

Men moet zeer sterke stroomen aanwenden, om dit verschijnsel regt duidelijk te doen waarnemen.

Aanwending van den galvanischen stroom als beweegkracht. Door de 58
sterke magnetische werkingen, welke door den electrischen stroom kunnen worden voortgebragt, werd men op de gedachte gebragt, om denzelven als beweegkracht aan te wenden. In fig. 430 is een toestel afgebeeld, die zeer geschikt is, om aan te toonen, hoe men door de magnetiserende werking van den galvanischen stroom eene aanhoudende beweging kan voortbrengen.

A B is een hoefijzervormig gebogen, aan het grondstuk bevestigd week ijzer, hetwelk even zoo met koperdraad is omwonden, als de in fig. 423 afgebeelde electromagneet. Het eene einde van den draad loopt naar het zuiltje van geel koper *a*, het andere naar een dergelijk zuilje *b*, en in *a* en *b* worden de pooldraden van een sterk galvanisch element ingeschroefd, waardoor nu het ijzer A B tot blijvende magneet wordt.

Fig. 430.



Binnen de beenen van den hoef A B is een dergelijke, kleinere hoef C D geplaatst, die om eene loodregte as kan worden gedraaid. Ook dit ijzer C D is op de bekende wijze omwonden met koperdraad, en de beide einden van dezen draad eindigen in eene met kwikzilver gevulde houten, ringvormige groeve.

Deze groeve is door twee tusschenwanden van hout of elpenbeen in twee afdeelingen verdeeld; de eene is door middel van eenen koperdraad verbonden met het geel koperen zuiltje *c*, de andere met een dergelijk zuiltje *d* in geleidende verbinding (in

c en *d* worden de beide pooldraden van eene enkelvoudige keten ingeschroefd. De beide afdeelingen der groeve zijn nu zoo ver gevuld met kwikzilver, dat het niveau daarvan zich in elke afdeeling wel eenigzins boven den tusschenwand verheft, maar toch niet van de eene afdeeling in de andere vloeit. — Dit kan gemakkelijk verkregen worden, omdat het kwikzilver in iedere afdeeling eenen convexen droppel daarstelt. De beide draden van den electromagneet C D gaan slechts zoo ver naar beneden, dat het einde van den eenen draad gedompeld is in het kwikzilver van de eene afdeeling, dat van den anderen draad in het kwikzilver van de andere afdeeling, maar dat zij bij de ronddraaijing van den electromagneet C D zonder belemmering over de tusschenwanden der beide afdeelingen kunnen heengaan.

Bij den in fig. 430 voorgestelden stand van den electromagneet C D gaat nu, wanneer in *c* de positieve en in *d* de negatieve pooldraad van een sterk galvanisch element wordt ingeschroefd, de positieve stroom van uit *c* in de linker afdeeling der groeve, van daar door den koperdraad om het bewegelijke hoefijzer heen van D naar C, van uit C in de regter afdeeling der groeve, en van hier naar *d*. Bij dezen stand wordt de pool C door A en D door B aangetrokken, hetgeen eene draaijende beweging van den electromagneet C D te weeg brengt. Juist op het oogenblik echter, waarop C bij A en D bij B aankomt, gaan de beide einden van den draad die om den binnensten electromagneet is gewonden, over de tusschenwanden heen; de stroom, door welken C D magnetisch was gemaakt, wordt voor een oogenblik afgebroken, maar zoodra de beide einden van den draad uit de eene afdeeling in de andere zijn overgegaan, gaat de stroom door den om C D gewondenen koperdraad in eene tegenovergestelde rigting heen, de pool C wordt nu door A en D door B afgestooten, terwijl C en B, D en A elkander aantrekken, hierdoor wordt de ronddraaijende beweging van den binnensten electromagneet onderhouden, totdat C bij B en D bij A aankomt, waar dan door eene hernieuwde omkeering der polen van den binnensten electromagneet zijne omdraaijing in dezelfde rigting onveranderd wordt onderhouden.

Aan de spil, waarmede de binnenste electromagneet ronddraait, is een getand rad bevestigd, dat in de tanden grijpt van een rad van grooteren diameter. Om de spil van dit tweede rad is eene koord geslagen, die over eene katrol loopt, en waaraan een gewigt hangt, hetwelk door de ronddraaijing van den binnensten electromagneet om hoog wordt gevoerd.

De toestellen, welke naar dit zelfde beginsel in het groot worden vervaardigd, hebben geene gunstige resultaten opgeleverd. Eene der omstandigheden, die voornamelijk bijdroeg om deze proeven te doen mislukken, bestond daarin, dat in het ronddraaijende weeke ijzer de polen niet zoo spoedig volkomen omkeeren, als de stroom in den het ijzer omringenden draad wordt gewisseld; de ronddraaijende electromagneet krijgt daarom nooit

de volle magnetische kracht, zoo als deze aan den stroom zou moeten beantwoorden; en dit is nu des te meer het geval, hoe grooter de massa van den ronddraaijenden electromagneet is, en hoe sneller de ronddraaijing plaats grijpt.

Door Stöhrer is een toestel vervaardigd, bij welken dit gebrek is verholpen, maar desniettemin zijn de resultaten, welke daarmede verkregen worden, niet zoodanig, dat men hoop zou kunnen voeden, om het electromagnetisme als bewegende kracht in practische aanwending te brengen.

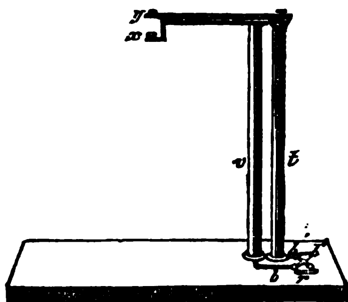
Eene andere practische toepassing van het magnetiseren van week ijzer door middel van galvanische stroomen, zijn de *electrische telegraphen;* zij zijn in de hoofdzaak op de navolgende wijze ingerigt: wanneer de beide uiteinden van de draadwindingen, welke om een U vormig week ijzer zijn heengelegd, zeer lang zijn, ja zelfs eene uitgestrektheid van eenige mijlen hebben, dan kan men, door met de uiteinden van die draden de keten bij afwisseling te sluiten en te openen, het op dien grooten afstand gelegene ijzer bij afwisseling magnetisch maken, en daarin het magnetisme weder doen ophouden. Hierdoor kan men dus bewerken, dat de op eenen zoo grooten afstand gelegen electromagneet, bij afwisseling een anker aantrekt en het weder loslaat. Deze bewegingen van het anker worden door middel van een getand rad medegedeeld aan eenen wijzer, die voor eene schijf ronddraait, op wier rand de letters van het alphabet staan. Wanneer dan de wijzer behoorlijk gesteld is, dan springt hij bij het eerste sluiten der keten op A, bij de daaropvolgende opening op B, bij eene tweede sluiting op C enz. Men kan op deze wijze, door een zeker aantal van sluitingen en openingen den wijzer naar verkiezing op elke letter brengen, en zoo doende niet alleen enkele letters, maar ook woorden en zaken op eenen afstand mededeelen. In eene nadere beschouwing dezer inrigtingen kunnen wij hier niet treden.

Rigting der stroomen onder den invloed van het aardmagnetisme. Daar- 59
de electrische stroom eene werking te weeg brengt op den magneet, was het reeds a priori niet te betwijfelen, of de magneten moesten ook omgekeerd eene dergelijke werking uitoefenen op den stroom, en derhalve ook in staat zijn om hem te rigten, en op onderscheidene wijzen te bewegen. Onder al deze omgekeerde verschijnselen is de invloed, dien het aardmagnetisme op de stroomen uitoefent, de belangrijkste, en het is reeds sedert lang, dat men getracht heeft, om bewegelijke stroomen daar te stellen, die, aan zich zelve overgelaten, al de verschijnselen zouden aanbieden, welke wij aan de magneetnaald waarnemen. Al deze proeven mislukten echter, omdat men niet in staat was, aan den stroom de noodige bewegelijkheid te geven; totdat al deze moeijelijkheden eindelijk werden overwonnen door Ampère, die eene zeer vernuftige wijze van ophangen uitvond, welke men bij alle stroomen kan aanwenden.

In fig. 431 zijn twee horizontale zuilen van geel koper voor-

gesteld, die op een houten voetstuk zijn bevestigd; aan haar boveneinde dragen zij horizontale armen, welke aan het uiteinde voorzien zijn met de kwikzilverbakjes *y* en *x* wier middelpunten juist loodregt onder elkander staan. Wanneer de voetstukken der zuilen met de beide polen der keten in verbinding worden gesteld, dan komt eene van de electrische vloeistoffen in het bakje *x*, en de andere in het bakje *y*. Het eene bakje kan men het *positieve*, het andere het *negatieve* bakje noemen.

Fig. 431.



In de bakjes *x* en *y* wordt nu een koperdraad opgehangen, die zoodanig gebogen is, als in fig. 432 en fig. 433 is voorgesteld. Op die plaats, waar de beide einden van den draad elkander schijnen aan te raken, zijn zij door eene isolerende stof van elkander geschei-

Fig. 432.

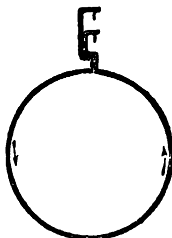
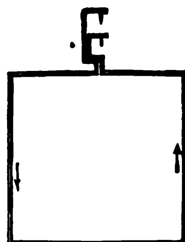


Fig. 433.



den; zij zijn van boven omgebogen, en voorzien met stalen punten, welke in de bakjes *x* en *y*, fig. 431 worden gedompeld. De eene punt gaat tot op den bodem van het bakje, en steunt daar op een klein glasplaatje, de andere punt is enkel in het kwikzilver gedompeld, zonder den bodem van het bakje aan te raken. Door deze wijze van ophangen is de draad buitengemeen bewegelijk.

Als men nu eenen stroom door de zuiltjes laat gaan, dan wordt de koperdraad gedraaid, en blijft na eenige schommelingen in eenen bepaalden stand, in welken hij steeds weder terugkeert, wanneer men hem er uit verwijdert.

Indien men den stroom omkeert, door de pool, welke in geleidende verbinding was met de positieve pool, in aanraking te brengen met de negatieve, en omgekeerd, dan maakt de draad eene halve omdraaijing om zijne loodregte as, en komt eerst dan

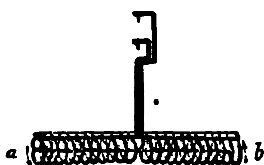
weder in evenwigt. In beide evenwigtsstanden is de gebogen draad zoodanig geplaatst, dat zijn vlak eenen regten hoek maakt met het vlak van den magnetischen meridiaan.

Er stelt zich een duurzaam evenwigt in, zoodra de positieve stroom in de onderste helft van den gebogen draad van het oosten naar het westen gaat.

De inrigting, welke in onze figuur op het plankje aan den voet der geel koperen zuiltjes is afgebeeld, dient, om den stroom snel te kunnen omkeeren. Men geeft hieraan den naam van *commutator.* Het zij hier genoeg, om het doel dier inrigting te vermelden, zonder dat wij in hare verdere beschrijving treden.

Daar een gesloten kringvormige stroom, die om eene loodregte as bewegelijk is, zich regthoekig op het vlak van den magnetischen meridiaan plaatst, volgt hieruit, dat een stelsel van evenwijdige cirkels, in welke de stroom in eene en dezelfde rigting heengaat, zich eveneens moet plaatsen. Derhalve zal dan ook de in fig. 434 afgebeelde schroefdraad, aan het statief van AMPÈRE opgehangen, indien er een stroom doorheen gaat, zich zoodanig plaatsen, dat de as van den schroefdraad in de rigting van de declinatie-naald komt te liggen.

Fig. 434.



Hieruit blijkt niet alleen, dat op deze wijze de declinatie-naald door eenen schroefdraad kan worden nagebootst, maar ook, dat de zuidpool, d. i, de naar het noorden gerigte pool, die is, voor welke de opstijgende stroom ter regter zijde ligt, wanneer men hem van hare zijde af ziet. Indien men den schroefdraad van uit *a* ziet, dan heeft men werkelijk den opstijgenden stroom aan de regter, den neêrdalenden stroom aan de linker zijde; maar zoo men den schroefdraad van uit *b* ziet, dan heeft men den opstijgenden stroom ter linker zijde: *a* is derhalve de zuidpool en moet zich naar het noorden rigten.

Het plankje, hetwelk de vereeniging der onderscheidene windingen van den schroefdraad, in fig. 434, ondersteunt, bestaat uit eene niet geleidende stof.

Wanneer men bij den zoo even door ons beschouwden schroefdraad eenen magneet brengt, dan kan men geheel overeenkomstige verschijnselen waarnemen, alsof men met den magneet tot eene declinatie-naald naderde. In het algemeen oefenen ook natuurlijke magneetstaven hare werking uit op alle tot hiertoe beschreven toestellen.

Wederkeerige werking van galvanische stroomen op elkander. Twee 60
evenwijdige stroomen oefenen altijd eene werking op elkander uit, welke meer of minder levendig is, naar gelang van hunnen afstand, intensiteit en lengte. Indien men de rigting der voortgebragte beweging beschouwt, dan is deze onderworpen aan de navolgende eenvoudige wet: *Twee evenwijdige stroomen trekken*

elkander aan, wanneer zij zich in dezelfde rigting bewegen, maar stooten elkander af, wanneer hare rigtingen aan elkander zijn tegenovergesteld.

Het hier gezegde kan door middel van den nevenstaanden eenvoudigen toestel worden aangetoond: *abcdef* is een regthoekig gebogen koperdraad, die in de kwikzilverbakjes *x* en *ij* is opgehangen. De stroom gaat door de zuil *t* omhoog, doorloopt den regthoek in de rigting van de pijl, en gaat in de zuil *v* omlaag. De stroom in de zuil *t* heeft eene gelijke rigting met dien in den draad *de;* hetzelfde is het geval met de stroomen in *bc* en in *v.* Indien men nu den koperdraad uit den in fig. 435 voorgestelden

Fig. 435.

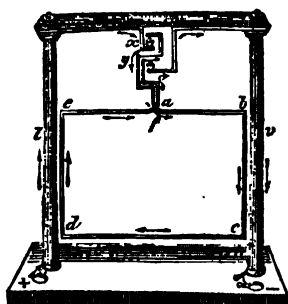
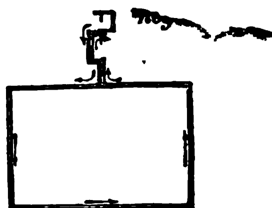


Fig. 436.



stand brengt, dan keert deze toch altijd weder in zijnen vorigen stand terug, omdat *de* wordt aangetrokken door *t* en *bc* door *v.*

Indien men den in fig. 436 voorgestelden koperdraad in de plaats hangt van dien, welke in fig. 435 is afgebeeld, dan heeft de stroom in den draad eene rigting, tegenovergesteld aan de in de vorige figuur voorgestelde, en men neemt nu eene afstooting waar: *evenwijdige stroomen in tegenovergestelde rigting stooten dus elkander af.*

Gekruiste stroomen noemt men die stroomen, welke niet evenwijdig loopen, onverschillig of zij in een vlak liggen en hunne rigtingen elkander snijden, of dat zij in verschillende vlakken liggen, zoodat zij elkander niet raken. In het eerste geval wordt door het snijdpunt het *overkruisingspunt* daargesteld, in het tweede geval is het overkruisingspunt gelegen in het punt van den kortsten afstand der twee stroomen. *Twee gekruiste stroomen trachten altijd zich evenwijdig te plaatsen, ten einde zich in eene rigting voort te bewegen,* of met andere woorden: *er grijpt onderlinge aantrekking plaats tusschen die gedeelten van den stroom, die naar het kruisingspunt loopen, en daarna tusschen die, welke van het kruisingspunt af gaan. Daarentegen grijpt er afstooting plaats tusschen den stroom die naar het kruisingspunt loopt en dien welke daarvan afgaat.*

Indien bv. *ab* en *cd*, fig. 437, twee stroomen zijn, wier kruisinge punt in *r* is gelegen, dan grijpt er aantrekking plaats

tusschen de deelen *ar* en *cr*, in welke de stroom naar het kruisingspunt heengaat, en tusschen de deelen *rb* en *rd*, in welke

Fig. 437.

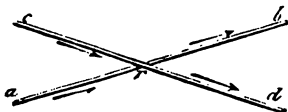
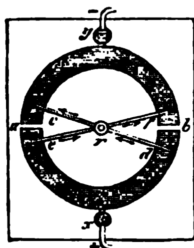


Fig. 438.



Fig. 439.



hij van het kruisingspunt afgaat. Er grijpt afstooting plaats tusschen *ar* en *rd*, en voorts tusschen *cr* en *rb*.

De toestel, welke in fig. 438 in doorsnede en in fig. 439 in zijne omtrekken is afgebeeld, dient ten bewijze van de bovenstaande stelling. In eene houten plaat zijn twee half cirkelvormige groeven aangebragt, welke door isolerende tusschenwanden *a* en *b* van elkander zijn gescheiden. In het middelpunt verheft zich eene punt, op welke eene zeer bewegelijke koperen naald *cd* rust, wier einden dompelen in het kwikzilver van de groeven. Een weinig onder deze naald is eene tweede, *cf* gelegen, wier uiteinden eveneens in het kwikzilver gedompeld zijn, en die men met de hand kan verschuiven. De stroom, welke bij *x* intreedt, gaat in de eene groeve, en vervolgens door de beide naalden heen in de andere over, om eindelijk bij *ij* uit te treden.

De afstooting kan worden aangetoond, als men aan de naalden den in fig. 439 voorgestelden stand geeft; en de aantrekking daarentegen, wanneer men ze zoodanig plaatst, dat de hoek *erd* kleiner wordt dan een regte hoek.

Theorie van het magnetisme van Ampère. Het beginsel van deze 61
theorie bestaat daarin, dat men elk molecule van eenen magneet beschouwt, als het ware omgeven te zijn door eenen stroom, die, steeds rondom het molecule heengaande, in zichzelven terugkeert, en dien men, tot vereenvoudiging van de voorstelling, als cirkelvormig kan beschouwen. Volgens deze theorie stelt men zich elke dier regthoekig op de as van den magneet bewerkstelligde doorsneden zoodanig voor, als in fig. 440 is

Fig. 440.

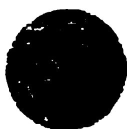


Fig. 441.



afgebeeld. ... plaats echter van al de elementaire stroomen van iedere ...e, kan men zich voorstellen, dat en rondom

het molecule een enkele stroom heengaat, die als het ware de resultante van al de afzonderlijke stroomen rondom het molecule is, en op deze wijze kan men zich eene magneetstaaf voorstellen als een systeem van paralelle geslotene stroomen, ten naastenbij zoo, als in fig. 441 is afgebeeld.

Hetgeen hier van eene magneetstaaf gezegd is, kan ook worden toegepast op eene magneetnaald, kortom op elken magneet, welke ook zijne gedaante zijn moge.

Verbeelden wij ons eenen schroefdraad, fig. 442, door welken de stroom heengaat in de rigting der pijl; stellen wij ons voor, dat hij bij *m* is doorgesneden, en de beide einden van elkander zijn verwijderd, dan volgt uit onze definitie, dat er bij *a* eene zuidpool en bij *b* eene noordpool is gelegen; want wanneer men zich keert naar de pool bij *a*, dan heeft men den opklimmenden stroom aan de regter zijde, en als men zich naar *b* keert, dan heeft men dien stroom aan de linker zijde.

Fig. 442.

Indien men derhalve eenen schroefdraad regthoekig op zijne as doorsnijdt, dan ontstaan er twee ongelijknamige polen, even zoo, als wanneer men eenen magneet door midden breekt.

Het is voorts duidelijk, dat de ongelijknamige polen *a* en *b* elkander aantrekken, want wanneer wij slechts de cirkels aan het einde van den schroefdraad beschouwen, dan ziet men, dat hier de stroomen evenwijdig en in dezelfde rigting verloopen, en hetzelfde is het geval met al de andere cirkels.

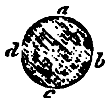
Ten einde de verklaring der aantrekking en afstooting der polen bij verschillende plaatsingen der magneten ten opzigte van elkander regt duidelijk te maken, is het beste, om op twee cilinders van hout of van papier, ongeveer ter lengte van 1 à 1,5 voet en van 2 à 3 duim diameter, op de in fig. 441 afgebeelde wijze pijlen te teekenen, welke de rigting der stroomen voorstellen; voorts duide men op de beide cilinders de gelijknamige polen op dezelfde wijze aan, b. v. de noordpool door +, de zuidpool door —. Met behulp van twee zoodanige cilinders kan men ligt begrijpelijk maken, waarom gelijknamige polen elkander altijd afstooten, en ongelijknamige elkander aantrekken, onverschillig op welke wijze men ze tot elkander brengt.

Volgens deze hypothese is ook het magnetisme der aarde afhankelijk van zoodanige stroomen, die in de korst der aarde zich evenwijdig aan den magnetischen aequator bewegen.

62 **Rotatie van bewegelijke stroomen en magneten.** In fig. 443 zij abcd de horizontale doorsnede van eenen loodregt geplaatsten magneet en van eenen in het punt *s* verkort voorgestelden loodregten stroom, dien wij als opklimmende zullen beschouwen, en die

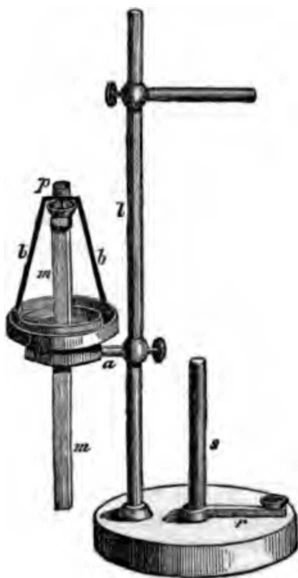
bewegelijk is om eene loodregte as, dan is het volgens de boven uiteengezette gronden duidelijk, dat het stuk *ab* van den magnetischen stroom den stroom *s* zal afstooten, die daarentegen door het stuk *bc* zal worden aangetrokken; en de stroom *s* moet dus ronddraaijen in de rigting van den stroom in den magneet. Indien de stroom *s* een nederdalende stroom ware, dan zou de rigting der ronddraaijing eene tegenovergestelde zijn; en eveneens wordt natuurlijk de omkeering van de rigting der rotatie te weeg gebragt door de omkeering der magnetische polen.

Fig. 443.



Door middel van den in fig. 444 afgebeelden toestel, kan men eene zoodanige rotatie te weeg brengen. Langs eene loodregte staaf *b* kan eene horizontale staaf *a* bewogen worden, zoodat men haar met eene schroef naar verkiezing op elke hoogte en in elke rigting kan vastzetten. Deze horizontale staaf draagt eenen geelkoperen ring, op welken eene cirkelvormige, houten, met kwikzilver gevulde groeve kan worden geplaatst. In den geel koperen ring is eene kwikplaat gestoken, door wier midden eene loodregte magneetstaaf heengaat, welke van boven voorzien is met eene bus, waarop een stalen bakje. In den grond van dit stalen bakje is eene fijne punt, welke eenen koperen beugel *b* draagt. Deze beugel is aan beide zijden naar beneden omgebogen, zoodat zijne onderste uiteinden, die aan de punten met platina zijn voorzien, in de met kwikzilver gevulde groeve gedompeld zijn. In het midden van dezen koperen beugel is een kwikzilverbakje *p*. Zoodra nu eene pooldraad der keten gebragt wordt in het kwikzilverbakje *p*, en de ander van boven in de groeve wordt gedompeld, dan gaat de stroom door de beide armen van den koperen beugel heen, en deze begint dan rond te draaijen.

Fig. 444.



De werking van den magneet in den eenen arm van den koperen beugel wordt ondersteund door de werking, welke de magneet uitoefent op den stroom in den [illegible] den koperen beugel.

Op eene dergelijke wijze kan men [illegible]
van eenen bewegelijken magneet om eene [illegible]

en van eenen bewegelijken stroom om eenen onbewegelijken stroom. De toestellen, welke ter voortbrenging van zulke ronddraaijingen dienen, zijn op de menigvuldigst mogelijke wijzen ingerigt.

TWEEDE HOOFDSTUK.

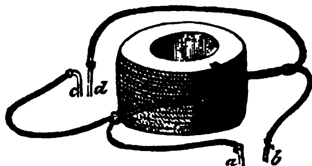
Inductieverschijnselen.

63 Op het oogenblik, waarop een electrische stroom begint of ophoudt, of ook wanneer hij eenvoudig nader bij eenen naburigen geleider komt, of wanneer hij daarvan verder wordt verwijderd, kan de electrische stroom in dezen geleider electrische stroomen voortbrengen.

Deze verschijnselen werden in het jaar 1838 door FARADAY ontdekt, en verdienen de grootste belangstelling, zoowel om hun gewigt in theoretisch opzigt, als uit hoofde van de talrijke daadzaken, welke er op steunen. Deze nieuwe stroomen, welke in de geleiders door de verdeelende werking van andere stroomen worden voortgebragt, dragen den naam van *inductie-stroomen*. Men zou ze ook *tijdelijke stroomen* kunnen noemen, omdat zij slechts een oogenblik voortduren. Zoo men ze naar hunnen oorsprong zou noemen, zoo als men dit met de *thermo-electrische* en *hydro-electrische* stroomen heeft gedaan, dan zou men ze *magneto-electrische* en *electro-electrische* kunnen noemen, omdat zij of door magnetisme of door electriciteit worden voortgebragt. Bij voorkeur zullen wij den naam van *inductie-stroomen* behouden, die ook door de meeste natuurkundigen is aangenomen.

64 **Werking van eenen electrischen stroom op eenen geslotenen geleidenden kring.** Op eene spil van hout of metaal worden twee met zijde omwikkelde koperdraden zoodanig gewonden, als in fig. 445 is voorgesteld. De eene draad loopt hier altijd naast den anderen, zonder dat er eene geleidende verbinding tusschen beide plaats grijpt; en wanneer men dus met den eenen draad eene galvanische keten sluit, door de beide einden *a* en *b* van dien draad in verbinding te brengen met de polen van de keten, dan gaat er door dezen draad een stroom heen, die echter niet op den anderen draad kan overgaan.

Fig. 445.



In dezen tweeden draad wordt nu, door de verdeelende werking van den stroom, een *stroom in tegenovergestelde rigting* voortgebragt, zoodra slechts de beide einden *c* en *d* van dezen tweeden draad in geleidende verbinding zijn. Deze geleidende verbin-

ding kan worden daargesteld door middel van eenen multiplicator, wanneer men *c* met het eene en *d* met het andere einde van den draad des multiplicators in verbinding stelt. Op het oogenblik, dat men met den eersten draad de galvanische keten sluit, wijst de afwijking der naald van den multiplicator het bestaan van eenen stroom aan in den tweeden draad. Gesteld, dat de positieve stroom in den eersten draad van *a* naar *b* loopt, dan wijst de multiplicator in den tweeden draad eenen stroom aan, die in de rigting van *d* naar *c* door denzelven heen gaat.

Deze stroom in den tweeden draad is evenwel niet duurzaam, want de naald van den multiplicator keert al spoedig weder terug tot het nulpunt der verdeeling; maar zoodra de hoofdstroom (in den eersten draad) wordt afgebroken, slaat de naald van den galvanometer naar de tegenovergestelde rigting door, en wijst dus nu eenen stroom aan, die door den tweeden draad in de rigting van *c* naar *d* loopt, en dus in dezelfde rigting, in welke zich de pas afgebroken hoofdstroom bewoog.

Een electrische stroom kan derhalve, op het oogenblik dat hij ontstaat en dat hij ophoudt, in eenen nabij liggenden, in zich zelven terugkeerenden draad stroomen induceeren. De stroom, die bij de sluiting der keten geinduceerd wordt, heeft eene tegenovergestelde rigting van den hoofdstroom, de stroom welke bij het afbreken der keten wordt geinduceerd, heeft dezelfde rigting.

Bij de boven medegedeelde proeven, werd er door den stroom die in den eersten draad loopt, op het oogenblik van zijn begin en van zijn ophouden, in den tweeden draad een stroom voortgebragt. Men zou dus kunnen gelooven, dat deze werkingen te weeg gebragt werden door eenigerhande wijzigingen, welke bij het begin en bij het ophouden van den stroom zich konden voordoen. Ten einde allen twijfel hieromtrent weg te nemen, heeft FARADAY door proeven aangetoond, dat men juist dezelfde resultaten verkrijgt, wanneer men eenen geleiddraad, waar een stroom door henen loopt, derhalve dien draad, van welken de inducerende werking uitgaat, nader bijbrengt tot of verwijdert van dien, in welken men eenen stroom wil induceeren.

Wanneer men derhalve zegt, dat de werking van eenen stroom op eenen geslotenen geleider *begint*; dan moet men daaronder verstaan, dat de induceerende stroom zelf eerst begint, of dat hij, reeds in beweging zijnde, digt bij den geslotenen geleider gebragt wordt. In beide deze gevallen zijn de werkingen volkomen gelijk. Wanneer men zegt, dat de werking van eenen stroom op eenen geslotenen geleider *ophoudt*, dan beduidt dit, dat of de induceerende stroom zelf ophoudt, of dat hij van den geslotenen geleider wordt verwijderd.

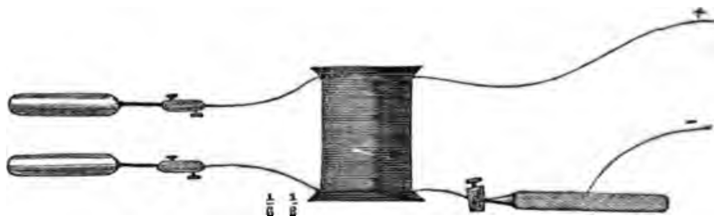
De geinduceerde stroomen brengen al de werkingen der gewone stroomen voort, en bepaaldelijk ook vonken en slagen. Indien de einden *c* en *d* van den tweeden draad zeer digt bij elkander worden gebragt, dan ziet men hier eenen vonk overspringen, wanneer door de einden *a* en *b* van den induceerenden

draad de keten gesloten wordt. Wanneer men het einde *c* van den draad in de eene, en *d* in de andere hand neemt (de handen moeten bij deze proef eenigzins vochtig wezen), dan gevoelt men bij het openen en sluiten van den hoofdstroom eenen slag, die des te sterker is, hoe langer de opgewonden draad is.

Door middel van de boven beschreven dubbele spiralen, kan men zeer sterke werkingen op de zenuwen voortbrengen: want indien de opgewonden draden eene aanmerkelijke lengte bezitten, is de intensiteit van den inductiestroom ongelijk sterker dan van dien, welken de voor de inductie gebezigde galvanische keten op zich zelve geeft. Eene enkelvoudige galvanische keten, zelfs eene batterij van 4, 6, ja 12 paren, brengt geenen slag voort. Zoo men echter met de einden van den induceerenden draad eene keten van weinig paren, ja zelfs maar van een enkel paar sluit, dan krijgt men aan den inductiedraad eenen sterken slag. Door eene inductie-spiraal wordt derhalve in zekeren zin de electrische hoeveelheid van eenen stroom, die door eene of meer paren van groote oppervlakte wordt geleverd, veranderd in eenen stroom van groote intensiteit; eene zoodanige inductie-spiraal is derhalve een voortreffelijk middel, om physiologische werkingen voort te brengen, en vooral, wanneer men zorg draagt, om de keten spoedig achtereen afwisselend te sluiten en te openen. Ter bereiking van dit doel zijn onderscheidene, zeer vernuftige toestellen uitgedacht.

Het eenvoudigste kan men dit doel op de volgende wijze bereiken. In fig. 446 is eene spil afgebeeld, omwonden met twee naast elkander liggende draadwendingen.

Fig. 446.



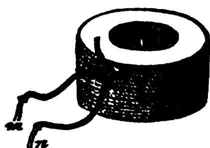
De uiteinden van den eersten draad loopen naar de regter zijde, en die van den tweeden naar de linker zijde. De einden van den laatsten zijn voorzien met metalen handvatsels, welke men in de eenigzins bevochtigde handen neemt. Het eene einde van den eersten draad is geleid naar de positieve pool eener galvanische keten, het andere loopt met eene vijl ten einde. Als men nu met den negatieven pooldraad der keten over de vijl heen strijkt, dan wordt natuurlijk de stroom in den eersten draad zeer snel achtereen bij afwisseling afgebroken en weder hersteld, waarbij de persoon, die de metalen handvatsels van den tweeden draad vasthoudt, snel op elkander volgende slagen

gevoelt, welke men nog daardoor bijzonder kan versterken, dat men eenen ijzeren cilinder steekt in de holte der draadspiralen.

Werking der windingen op elkander. Als men eene enkelvoudige keten door eenen korten draad sluit, dan krijgt men slechts eenen zwakken vonk als de keten weder geopend wordt, en men krijgt daarbij geenen slag. Zoo men echter in de plaats van den korten draad eenen zeer langen bezigt, dan ziet men bij het openen der keten eenen veel sterkeren vonk overspringen, en als men het eene einde van den draad in de eene, het andere in de andere hand neemt, dan gevoelt men bij het openen der keten eenen slag. Deze werkingen worden vooral daardoor bijzonder versterkt, dat men den draad opwindt, en wel zoodanig, dat de windingen allen zoo digt mogelijk bij elkander liggen. Ter bereiking van dit doel, moet natuurlijk de draad met zijde omsponnen zijn, opdat de stroom niet ter zijde van de eene winding op de naastvolgende kan overspringen. 65

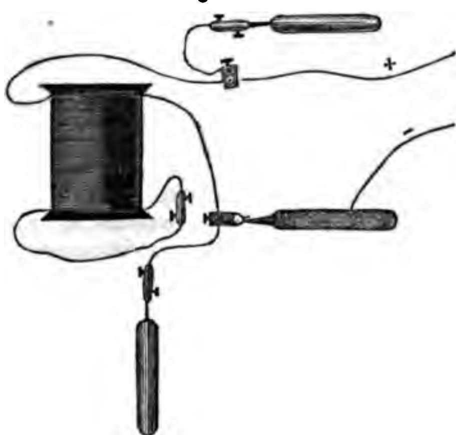
Deze werking van lange draadspiralen kan men zeer goed aantoonen met eene enkelvoudige spiraal, fig. 447. Daartoe behoeft men de einden *m* en *n* van den draad slechts te dompelen in de kwikzilverbakjes, welke de polen van eene galvanische keten daarstellen, en men zal dan bij het uitnemen der draden den versterkten vonk zien en den slag gevoelen. Indien men met behulp van geschikte toestellen deze slagen in snelle opeenvolging door het ligchaam laat heengaan, dan kunnen zij reeds krachtige werkingen op de zenuwen te weeg brengen.

Fig. 447.



Met dit oogmerk zijn eveneens onderscheidene toestellen ingerigt. Het eenvoudigst, ofschoon niet op de meest volkomene wijze, kan men eene vijl aanwenden, zoo als dit uit fig. 448 wel zonder eene verdere verklaring duidelijk zal wezen.

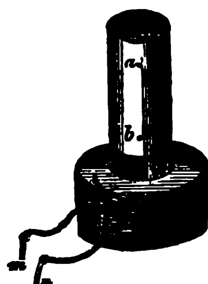
Fig. 448.



Inductie van electrische stroomen door magneten. Een metalen draad, met zijde omsponnen, zij gewonden om eene houten of metalen spil, wier holte zoo groot is, dat men er eenen magneet in kan steken. De beide einden *m* en *n* van den draad worden in verbinding gebragt met de beide einden van den multiplicatordraad eens galvanometers, die ver genoeg verwijderd is, zoodat de magneet 66

de naald van het instrument niet kan doen afwijken. Op het oogenblik, dat men den magneet in de spil steekt, ziet men ook eene afwijking aan de naald van den galvanometer, die echter al spoedig weder tot het nulpunt der schaal terugkeert, om zich op nieuw, en wel in de tegenovergestelde rigting te bewegen, als men den magneet uit de spil terugtrekt. De rigting van den stroom, welke de galvanometer bij de nadering van den magneet aanwijst, is tegenovergesteld aan de rigting der stroomen, welke volgens de theorie van AMPÈRE om den magneet heengaan; de stroom daarentegen, die bij de verwijdering van den magneet wordt geinduceerd, heeft dezelfde rigting als gene.

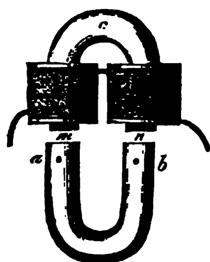
Fig. 449.



Bij deze proeve wordt er door de nadering of verwijdering van den magneet eene werking op de gesloten draadwindingen voortgebragt; maar de magnetische werking kan nog op eene andere wijze beginnen en ophouden. Zij kan namelijk beginnen op het oogenblik, dat de magnetische vloeistoffen in het ijzer ontleed worden, en ophouden, als het ijzer weder tot den niet magnetischen staat terugkeert. Dit kan op de volgende wijze worden aangetoond:

In fig. 450 is *ab* een sterke hoefmagneet, *mcn* is een stuk week ijzer, hetwelk eveneens hoefijzervormig is, gebogen, en welks beenen bedekt zijn met menigvuldige windingen van eenen enkelen, zeer langen, met zijde omsponnen draad.

Fig. 450.



De rigting der windingen op beide beenen moet zoodanig wezen, dat, als er een stroom door den draad gaat, de beide beenen tegenovergestelde polen daarstellen zouden. De beide einden van den draad worden op eenen genoegzamen afstand van het ijzer en den magneet met elkander verbonden, en eene enkelvoudige magneetnaald, over of onder welke men den draad heenleidt, ondergaat reeds door den geinduceerden stroom eene afwijking.

Zoo men den magneet *ab* snel tot de beenen van den kern van week ijzer doet naderen, dan wijst de naald eenen stroom aan, wiens rigting tegenovergesteld is aan die, welke, volgens de theorie van AMPÈRE om het weeke, nu magnetisch geworden ijzer heengaat. Bij de verwijdering van den magneet *ab* heeft de geinduceerde stroom eene gelijke rigting met die van den stroom, welke nu in het weeke ijzer ophoudt.

Men kan zeer gemakkelijk aantoonen, dat deze in den draad geinduceerde stroom niet het gevolg is eener directe werking der magnetische polen van den nu naderbij gebragten magneet;

want deze geinduceerde stroom krijgt eene zoodanige intensiteit, dat er, zoo de beide einden van den draad elkander niet geheel aanraken, maar slechts op eenen korten afstand van elkander zijn, een levendige vonk overspringt, zoowel wanneer de magneet snel naderbij wordt gebragt, als ook, wanneer hij verwijderd wordt. Deze electrische vonk is zonder eenigen twijfel door magnetische werking voortgebragt. Als men ieder einde van den draad in de handen neemt, dan bespeurt men bij de nadering en verwijdering van den magneet eenen slag, die, zoo de magneet sterk genoeg is, vergeleken kan worden met den slag eener kleine Leidsche flesch.

Zelfs door het aardmagnetisme kunnen stroomen worden voortgebragt. Zoo men eenen staaf van week ijzer, met eenen schroefdraad omwonden, in de rigting der inclinatienaald houdt, en dan snel omkeert, zoodat het bovenste einde onder en het onderste boven komt, dan wordt er in den schroefdraad een stroom geinduceerd.

Wanneer de binnenste hoef van den in fig. 430 afgebeelden toestel onder de daar beschreven omstandigheden ronddraait, dan moeten er, bij het naderen der beenen van den binnensten hoef tot de beenen van den buitensten hoef, in de draadwindingen stroomen worden geinduceerd, die volgens de boven ontwikkelde wetten tegenovergesteld zijn aan die, welke de ronddraaijing te weeg brengen; deze, door de rotatie geinduceerde, stroomen moeten derhalve noodwendig de kracht verminderen, met welke de beenen der beide hoeven elkander aantrekken en afstooten; en op deze wijze dragen dan die geinduceerde stroomen er wezenlijk toe bij, om het mechanische uitwerksel, hetwelk zulke rotatie-toestellen voortbrengen, veel geringer te doen zijn, dan men verwachten zou uit de sterkte van het magnetisme, hetwelk aan week ijzer door eenen galvanischen stroom kan worden medegedeeld.

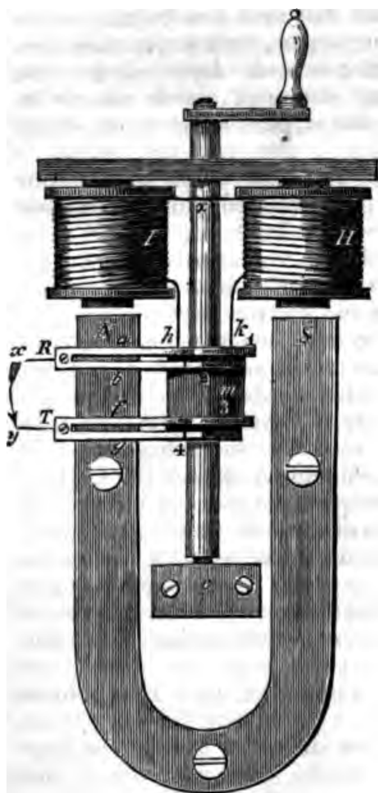
Magneto-electrische rotatie toestel. Indien wij ons voorstellen dat 67
de einden van de in fig. 450 afgebeelde inductiespiralen, die aan de beide einden van eenen kern van week ijzer zijn gelegen, in geleidende verbinding zijn gebragt, en dat dit weeke ijzer vervolgens om eene loodregte as snel wordt omgedraaid, zoodat de pool *m*, die zich juist boven *a* bevindt, na eene halve ronddraaijing boven *b* komt, dan zal er, daar *m* zich van *a* en *n* van *b* verwijdert, in de draadwindingen een stroom worden geinduceerd. Deze stroom nu duurt met veranderlijke sterkte, maar in onveranderde rigting, gedurende eene halve omdraaijing voort, namelijk terwijl *m* van *a* tot *b* en *n* van *b* naar *a* wordt gedraaid. Zoodra echter de tweede halve omdraaijing begint, wordt de rigting van den stroom veranderd, om na het volbrengen eener geheele ronddraaijing weder te veranderen. Indien dus het weeke ijzer met zijne draadwindingen snel ronddraait, dan zullen door deze windingen gestadig afwisselende stroomen heengaan, die telkens in elkander overgaan, wanneer

de polen van het weeke ijzer tegenover de polen van den magneet komen. Dat de rigting der stroomen werkelijk op de boven vermelde wijze verandert, volgt uit de regelen, welke omtrent de rigting der geinduceerde stroomen zijn opgegeven, want daar *a* en *b* tegenovergestelde polen zijn, moet de verwijdering van *a* eenen in dezelfde rigting gaanden stroom induceeren, als de nadering tot de pool *b*.

Ten einde op eene geschikte wijze proeven in het werk te kunnen stellen met de door magneten geinduceerde stroomen, heeft men toestellen ingerigt volgens de boven medegedeelde gronden, welke den naam dragen van *magneto-electrische rotatie toestellen.*

De inductie spiralen J en H, fig. 451, zijn gewonden om twee cilinders van week ijzer, die bevestigd zijn aan de beide einden eener ijzeren plaat, waardoor in het midden eene as heengaat. Deze as kan, gelijk men uit de figuur ziet, door een gebogen handvatsel worden rondgedraaid. Bij de ronddraaijing gaan nu de beide kernen van week ijzer langs de polen N en S van eenen sterken hoefmagneet heen, en elke kern van week ijzer wordt daardoor afwisselend veranderd in eene noordpool, en dan weder in eene zuidpool.

Fig. 451.



Het geheele ronddraaijende stelsel met hetgeen daaraan bevestigd is, zullen wij den *inductor* noemen.

De omwindingen om de beide kernen van week ijzer worden natuurlijk door een enkelen, onafgebrokenen, langen draad daargesteld, *h* is het eene uiteinde van den draad; nadat nu de draad met vele windingen om den kern heen gaande, de spiraal J heeft gevormd, gaat hij bij x op den kern der andere zijde over, en stelt de andere draadspiraal H daar, welke bij *k* eindigt.

Zoodra de uiteinden *h* en *k* in geleidende verbinding zijn, ontstaat er een inductiestroom in de windingen, wanneer de inductor wordt rondgedraaid. De

rigting van den stroom is afhankelijk van de wijze, waarop de draad is opgewonden.

Stellen wij, dat de draad zoodanig gewonden zij, dat bij x de positieve stroom steeds van die spiraal, welke juist van beneden af tot de pool S nadert, overgaat op de spiraal, welke van boven af tot de pool N komt. Op het oogenblik, waarop de inductor juist den in onze figuur voorgestelden stand heeft, waarop dus J benedenwaarts bij N, en H bovenwaarts bij S komt, gaat bij gevolg de positieve stroom van uit k door de spiraal H, vervolgens door x in de spiraal J en het einde *h* van den draad, om eindelijk door de metalen verbinding van *h* in *k* over te gaan.

Na verloop van eene halve ronddraaijing echter zal zich H naar de pool N begeven; nu circuleert de stroom in tegenovergestelde rigting, en nu is *k* het positieve en *h* het negatieve einde van den draad.

Het is nu noodzakelijk, om tusschen *k* en *h* bij de ronddraaijing van den inductor op eene zoodanige wijze eene geleidende verbinding daar te stellen, dat men tusschen hen in naar willekeur verschillende ligchamen kan voegen, door welke men den stroom wil laten heengaan. Dit geschiedt door middel van den *commutator*, wiens inrigting duidelijk wordt uit de in fig. 452 in doorsnede en in fig. 453 in perspectief voorgestelde afbeelding.

Fig. 452.

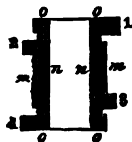
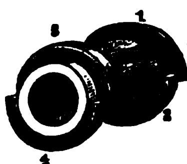


Fig. 453.



Aan de beide einden der geel koperen buis *m* zijn twee stalen kammen, 2 en 3, zoodanig gesoldeerd, dat zij juist tegenover elkander zijn gelegen, en hunne uiteinden een weinig boven elkander uitsteken. Binnen in de buis *m* en van deze door eene dunne buis van beukenhout gescheiden (in fig. 452 is de doorsnede dier buis geheel zwart geteekend) steekt eene tweede buis van geel koper, welke aande beide einden eenigzins vooruitspringt. Deze uitstekende einden dragen twee ringen *o*, die te gelijk met de buis *n* uit een enkel stuk gedraaid zijn, en denzelfden diameter hebben als de buis *m*; op deze ringen zijn de stalen kammen 1 en 4 tegenover de kammen 3 en 2 gesoldeerd, zooals men dit het duidelijkste ziet uit fig. 453.

Dit geheele systeem is bevestigd aan eene as, om welke het kan worden rondgedraaid.

Het einde *k* van den draad leidt naar den kam 1, het einde *h* leidt naar den kam 2.

Twee platte dunne stalen veeren R en T zijn buiten aan den toestel zoodanig aangebragt, dat zij met hare voorste gespletene einden de stalen kammen even aanraken; zij kunnen door middel van eene schroef naar willekeur meer of minder gespannen worden.

De veer R is gespleten in de beide beenen *a* en *b*; de veer T is verdeeld in *f* en *g*.

Door middel der aan de veeren R en T geschroefde draden *x* en *ij*, kan men den inductiestroom naar willekeur door alle ligchamen heenleiden. De draden *x* en *ij* behoeven slechts op de eene of andere wijze in geleidende verbinding te worden gebragt.

In den stand, welke in de figuur is voorgesteld, schuift *b* op den kam 2 en *g* op 4, terwijl *a* en *f* vrij zijn. Daar nu juist op dit oogenblik 2 van *h* de positieve electriciteit opneemt, terwijl 4 met den negatieven draad *k* in verbinding staat, circuleert de positieve stroom in de navolgende rigting door den toestel: Van *h* gaat hij door den kam 2 en het been *b* naar den draad *x*, van *x* gaat hij over op *ij*, om over *g* en den kam 4 naar den negatieven draad te komen.

Na eene halve omdraaijing wordt *k* het positieve en *h* het negatieve einde, maar nu glijdt ook *b* niet meer op 2 en *g* niet meer op 4, maar nu glijdt *a* op 1 en *f* op 3, de positieve stroom gaat derhalve van *k* door 1, *a* en *x* heen naar *ij*. Hieruit ziet men dus, dat bij deze inrigting de geleidende verbinding tusschen *x* en *ij* steeds in dezelfde rigting door eenen electrischen stroom wordt doorloopen, indien op hetzelfde oogenblik, waarop de stroom in de inductiespiralen omkeert, de beenen welke op hunne kammen rustten, deze verlaten terwijl de beenen, welke tot nu toe vrij waren op hunne kammen komen te leggen.

Dewijl de kammen een weinig over elkander uitsteken, zullen alle vier de veêren gedurende een oogenblik gelijktijdig over hunne kammen glijden; d. i. 1 zal reeds *a* aanraken eer nog 2 het been *b* verlaat, en even zoo komt 3 reeds in aanraking met *f*, eer 4 het been *g* verlaat. Op dit oogenblik gaat er volstrekt geen stroom door de geleidende verbinding tusschen *x* en *ij*, dewijl de stroom door de veêren zelve van de positieve kammen op de negatieven overgaat.

Op het oogenblik, op hetwelk een stalen kam zijne veêr verlaat, wordt hier de stroom afgebroken, waarbij een levendige vonk wordt waargenomen.

Wanneer het menschelijke ligchaam de verbinding sluit tusschen *x* en *ij*, dan gevoelt men bij iedere der boven vermelde afbrekingen eenen slag; bij eene snelle ronddraaijing van den inductor volgen deze slagen snel op elkander, en brengen dan dezelfde phiysiologische verschijnselen voort, als reeds vroeger beschreven zijn.

Indien men de draden *x* en *ij* leidt naar een toestel ter ontleding van water, dan wordt het water door den bij de rotatie opgewekten inductiestroom ontleed.

Wordt de verbindingsdraad tusschen *x* en *ij* spiraalvormig om een week ijzer gewonden, dan wordt dit door den inductiestroom magnetisch.

Zoo de inductiestroom door eenen zeer dunnen en korten draad van platina geleid wordt, dan wordt deze gloeijend, ten minste als de stroom der machine voor dit doel sterk genoeg is.

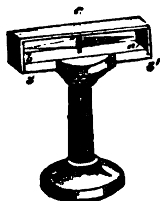
VIJFDE AFDEELING.

Thermoëlectrische stroomen en dierlijke electriciteit.

Wanneer twee metalen staven zoodanig aan elkander zijn gesoldeerd, dat zij eene gesloten keten van willekeurige gedaante daarstellen, dan ontstaat er een meer of minder sterke stroom, zoodra de beide gesoldeerde plaatsen eenen verschillenden graad van temperatuur hebben, en deze stroom blijft zoo lang aanhouden, als het temperatuursverschil onderhouden wordt.

Men kan dit aantoonen door middel van den in fig. 454 afgebeelden toestel. ss' is een staafje van bismuth, scs' een reep van koper, die aan de einden van het staafje van bismuth is gesoldeerd; ab is eene magneetnaald, bewegelijk steunende op een punt.

Fig. 454.

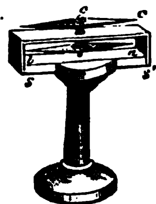


Wanneer de beide soldeerplaatsen nog de temperatuur der omringende lucht hebben, wordt de toestel zoodanig geplaatst dat het vlak van den vierhoek scs' in het vlak van den magnetischen meridiaan komt te liggen, zoodat dus de naald evenwijdig staat met de as en de lange zijde van het bismuth staafje. Zoodra nu eene der soldeerplaatsen, b. v. s. verwarmd wordt, dan biedt de naald eene meer of minder belangrijke afwijking aan; maar zoodra men deze zelfde soldeerplaats s tot beneden de temperatuur der omgevende lucht afkoelt, ziet men de naald in tegenovergestelde rigting afwijken.

Deze afwijkingen van de naald naar de eene en andere zijde pleiten duidelijk voor het bestaan van eenen electrischen stroom, die door den toestel in eene bepaalde rigting heengaat, wanneer de soldeerplaats s warmer is dan s', en in de tegenovergestelde rigting, als de soldeerplaats s minder warm is dan s'.

Niet alle metalen bieden zulke duidelijk merkbare verschijnselen aan, als bismuth en koper; maar dan moet men in de plaats van eene enkele naald een sijsteem van twee compensatie-naalden bezigen, zoo als in fig. 455 is afgebeeld.

Fig. 455.



De bovenste reep scs' heeft in zijn midden eene opening, ter doorlating van de staaf, welke de beide naalden vereenigt; de punt, op welke het sijsteem der beide naalden rust, gaat door tot de bovenste naald.

Het is niet volstrekt noodig, dat men eenen bijzonderen toestel, zoo als de in fig. 455 afgebeelde bezigt, tot het nemen der proef omtrent thermoëlectr... ...ns teit. Men kan zich daartoe van elke kompasnaald, zoo ...raakt

wegelijk genoeg is, zoo als b. v. de in 456 afgebeelde bedienen. Voor thermoëlectrisch element gebruikt men gewoonlijk eenen langwerpigen regthoek, fig. 457, uit bismuth en antimonium vervaardigd. In de nevenstaande figuur is het bismuth voorgesteld door de helder geteekende helft, en het antimonium door de andere helft. Deze beide metalen zijn bij *s* en *s'* aan elkander gesoldeerd.

Fig. 456.

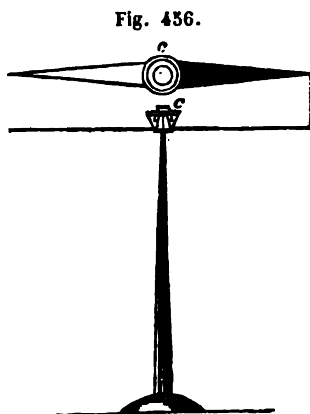
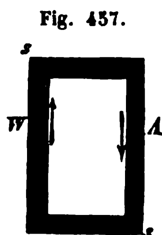


Fig. 457.

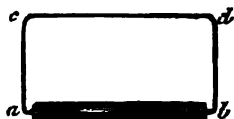


Ten einde de proef in het werk te stellen, verwarmt men voorzigtig de eene soldeerplaats met eene kleine wijngeestlamp, en houdt dan de eene van de lange zijden van den regthoek boven de magneetnaald, die nog in haren gewonen stand staat.

Hier valt nog bij op te merken, dat fig. 457 kleiner geteekend is dan fig. 456, doch de regthoek uit bismuth en antimonium moet zoo groot worden gemaakt, dat elke der lange zijden ten minste de lengte van de magneetnaald heeft.

Dikwijls zijn de enkelvoudige thermoëlectrische ketens ook ingerigt op de in fig. 458 afgebeelde wijze: *ab* is een staafje van antimonium of bismuth, aan welks beide einden een koperdraad *aedb* is gesoldeerd. Ten einde de proef in het werk te stellen, wordt de eene soldeerplaats bij *a* of *b* verwarmd, en de draad *ed* boven de naald gehouden.

Fig. 458.



Uit de onderzoekingen, omtrent de wederkeerige verhouding van onderscheidene metalen met betrekking tot het opwekken van thermoëlectrische stroomen, is gebleken, dat de metalen kunnen worden gerangschikt in eene zoodanige reeks, dat, zoo men twee metalen dezer reeks tot het daarstellen van eene keten bezigt, en aan eene der aanrakingsplaatsen verwarmt, op deze plaats de positieve stroom van het in de reeks lager staande metaal tot het hooger geplaatste overgaat. — Deze reeks is als volgt:

Antimonium
Arsenicum
IJzer
Zink
Goud
Koper
Geel koper
Rhodium
Lood
Tin
Zilver
Manganium
Cobaltum
Palladium
Platinum
Nikkel
Kwikzilver
Bismuth.

In den in fig. 454 afgebeelden toestel gaat derhalve, zoo de soldeerplaats bij *s* verwarmd wordt, de stroom in de rigting van *s* over *c* naar *s'* en dan naar *s* terug; op de verwarmde plaats van aanraking *s* is dus het in de reeks hooger staande koper positief ten opzigte van het lager staande bismuth. In den regthoek fig. 457 circuleert de positieve stroom in de rigting der pijl, wanneer de soldeerplaats bij *s* verwarmd is.

Thermoëlectrische zuilen. Even als meer dan een VOLTASCHE 69
elementen, kan men ook meerdere thermoëlectrische elementen vereenigen tot eene thermoëlectrische zuil, welke eenen stroom voortbrengt, wanneer de soldeerplaatsen 1, 3, 5, enz. worden verwarmd, terwijl de daar tusschen gelegene koud blijven.

Zoodanige thermoëlectrische zuilen kunnen dienen, om, in verbinding met multiplicatoren, de geringste verschillen van temperatuur aan te wijzen. Onder al de zuilen, welke tot dit doel zijn ingerigt, is ontegenzeggelijk de door NOBILI aangegevene de vernuftigste en gevoeligste; zij is in fig. 459 afgebeeld. Zij is zamengesteld uit 25 tot 30 zeer fijne naalden van bismuth en antimonium, die ongeveer 4 a 5 centimeters lang zijn. Zij zijn zoodanig aan elkander gesoldeerd, als men in fig. 460 ziet, namelijk zoodanig, dat al de parige soldeerplaatsen naar de eene zijde, al de onparige naar de andere zijde gerigt zijn. Het geheel wordt tot eenen kleinen, compacten en vasten bundel gemaakt, door de tusschen de naalden gelegene isolerende zelfstandigheden; want zij mogen elkander natuurlijk slechts aan de soldeerplaatsen aanraken. De eene helft van al de elementen, waarmede de keten eindigt, is verbonden met de stift *x*, de andere met de stift *ij*, deze stiften stellen op die wijze de polen daar van de zuil, en met haar worden de einden van den multiplicator draad verbonden.

Fig. 459.

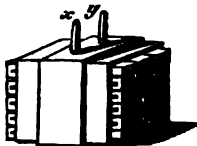
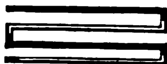


Fig. 460.



Wanneer de soldeerplaatsen aan de eene zijde slechts de geringste verandering van temperatuur ondergaan, wijkt de naald van den multiplicator onmiddellijk uit de rigting van den magnetischen meridiaan.

Dierlijke electriciteit. Het is reeds lang bekend, dat er visschen 70
zijn, welke in staat zijn, om electrische slagen voort te brengen. Onder deze zijn de beefaal en de sidderog de voornaamste. De sidderrog komt voor in de Middellandsche zee en in den Atlantischen oceaan; de beefaal in de binnenlandsche zeeën van Zuid-Amerika.

Indien de sidderrog zich in de lucht bevindt, dan gevoelt men eenen slag, wanneer men het een of ander gedeelte van zijne huid aanraakt met eenen enkelen vinger, zoowel als wanneer men haar met de geheele hand aanraakt.

Evenzoo krijgt men ook eenen slag, als men het dier aanraakt

met eenen goeden geleider, b. v. met eene metaalstaaf van eenige voeten lengte.

De slag wordt tegengehouden door elken slechten geleider, en men kan dus het dier ongestraft aanraken met eene glazen- of harsstaaf.

De rug van het dier is positief, de buik negatief electrisch; de electrische stroom, welke heengaat door eenen geleiddraad, die den rug met den buik verbindt, brengt al de werkingen voort van electrische stroomen, ofschoon in zwakkere mate.

Het orgaan, waarin de electriciteit wordt ontwikkeld, heeft bij de verschillende electrische visschen in de hoofdzaak dezelfde textuur; ofschoon gedaante, grootte en plaatsing verschillende zijn. Wij zullen trachten, hier eene voorstelling te geven van het orgaan van den sidderrog, hetwelk het naauwkeurigste van allen is onderzocht.

In fig. 461 is een sidderrog, van boven gezien voorgesteld.

Fig. 461.



Hij is aan de eene zijde geopend om het electrische orgaan te doen zien. Het loopt van voren tot digt aan den voorsten rand van het hoofd, de bovenste oppervlakte is met een vezelig vlies bedekt, en naar de huid van den rug gekeerd, de onderste naar die van den buik; de buitenste oppervlakte raakt aan het kraakbeen der borstvin en de binnenste aan de spieren van het hoofd en van het voorste gedeelte van den romp. Van boven en van beneden gezien, vertoont het electrische orgaan polygonale of rondachtige afdeelingen, fig. 462; van ter zijde gezien, neemt men evenwijdige streepen waar, zooals in fig. 463 is afgebeeld. Het geheele orgaan bestaat dus uit eene menigte van polygonale of rondachtige zuiltjes, wier as in de rigting van den buik naar den rug loopt. De rand van iedere zuil wordt omgeven door een eenigzins digter, peesachtig vlies, hetwelk, naar het schijnt, dezelfde diensten doet als de glazen staven, tusschen welke de galvanische zuil wordt opgebouwd. Elk zuiltje bestaat uit eene menigte laagsgewijs op elkander liggende fijne plaatjes; deze kleine, nu eens vlakke, dan weder gebogene plaatjes zijn door lagen van zeer kleverig slijm van elkander gescheiden, en bijgevolg vertoonen

Fig. 462.



Fig. 463.

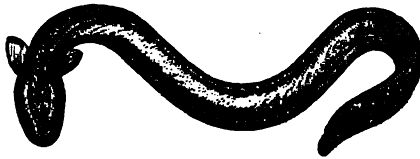


deze zuiltjes in hunne zamenstelling eene groote overeenkomst met eene galvanische zuil.

Bij den sidderrog telt men doorgaans ter wederzijde 400 tot 500 zoodanige zuiltjes.

Bij den beefaal, fig. 464 is het electrische orgaan gelegen in den zeer langen staart. Bij deze dieren ligt namelijk de aars zoo ver naar voren, dat de staart van den gymnotus bijkans 4½ maal langer is dan het hoofd en de romp te zamen; het

Fig. 464.



electrische orgaan neemt bijkans de geheele lengte van den staart in, en ligt ter wederzijde en onder denzelven, zoodat het electrische orgaan van dit dier eene bijzonder groote uitgestrektheid beslaat, hetgeen dan ook de oorzaak is, dat de beefaal zulke buitengewone slagen kan mededeelen.

Bij den gymnotus staan de zuiltjes, welke het electrische orgaan daarstellen, niet loodregt, gelijk bij den sidderrog, maar loopen in de rigting van den staart, zoodat de schijfjes, uit welke de zuiltjes bestaan, loodregt geplaatst zijn. Dat is de reden, dat bij den beefaal de positieve stroom in de rigting van het hoofd naar den staart loopt, en niet gelijk bij den sidderrog, van den rug naar den buik.

In het dierlijke organisme zijn echter ook electrische stroomen aangetoond, welke niet door bijzondere electrische organen worden voortgebragt. Nobili heeft bevonden, dat, wanneer men met het eene einde van den draad het hoofd, en met het andere de voeten van een levend of pas gedood dier aanraakt, er een stroom van het hoofd naar de voeten loopt. Even zoo kan men ook eenen stroom aantoonen, wanneer men snijdt in de spieren van het een of ander dier, en dan de uitwendige spierlaag door middel van den draad des multiplicators met de snede verbindt.

ZEVENDE AFDEELING.

OVER DE WARMTE.

EERSTE HOOFDSTUK.

Uitzetting.

71 Door middel van ons gevoelsvermogen onderscheiden wij aan de ligchamen verschillende toestanden, waaraan wij den naam van *heet*, *warm*, *koud* enz. geven. Wanneer een ligchaam, hetwelk wij koud noemen, warm wordt, dan neemt het ook toe in omvang, het zet zich uit.

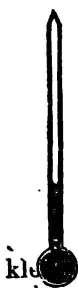
De onbekende oorzaak, door welke deze uitzetting der ligchamen wordt te weeg gebragt, en die tegelijk de verschillende bovenvermelde verschijnselen aan ons gevoelsvermogen aanbiedt, noemt men *warmte*.

De warmte bewerkt niet alleen eene uitzetting der ligchamen, maar zij is ook in staat, om de aggregatietoestanden der ligchamen te veranderen, zij bewerkt de smelting van vaste en de verdamping van druipend vloeibare ligchamen.

In het onderstaande zullen wij de wetten van deze verschijnselen nader beschouwen.

72 **De thermometer.** Dewijl alle ligchamen door de warmte worden uitgezet, en daar het volumen van een ligchaam afhankelijk is van den graad zijner verwarming, kan de uitzetting van een ligchaam dienen, om den graad van zijne verwarming te meten. *Temperatuur* van een ligchaam noemt men den graad van zijne verwarming, en de werktuigen, welke men bezigt ter bepaling van de temperatuur, worden *thermometers* genoemd.

Fig. 465.



kl
gebo
van zer
gescheide.

In fig. 465 is een *kwikzilver-thermometer* afgebeeld; de bol is met kwikzilver gevuld, en deze vloeistof is ook in de buis tot op eene bepaalde hoogte aanwezig, welke hoogte afhankelijk is van de temperatuur. Wanneer men den bol verwarmt, dan neemt het volumen van het kwikzilver toe, het rijst in de buis omhoog, en men zegt dan, dat de temperatuur verhoogd is. Als de bol verkoelt, dan vermindert het volumen van het kwikzilver weder, het daalt in de buis, en men zegt dan, dat de temperatuur gedaald is.

Bij dezelfde temperatuur staat de top van de kwikzilverkolom ook steeds op dezelfde hoogte in de buis. Zoo men eenen anderen grooteren of kleineren thermometer met den eersten vergelijkt, dan zullen beide te gelijk dalen, maar de absolute grootte van het rijzen en

dalen kan toch zeer verschillend zijn. Zoo bv. de beide bollen even groot zijn, maar de buis van den eenen heeft een tienmaal grooteren diameter dan de andere, dan zal bij gelijke verhooging van temperatuur, het kwikzilver in de eene buis tienmaal hooger rijzen dan in de andere.

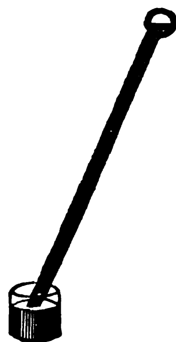
Een zoodanige thermometer kan enkel dienen ter bepaling, of eene bepaalde temperatuur al of niet bestaat, of wel of zij hooger of lager is, naarmate de top van de kwikkolom in de buis tot eene bepaalde plaats rijst of daalt. Reeds een zoodanig werktuig zou voor de wetenschap niet zonder nut zijn, maar door de *verdeeling in graden* worden de thermometers eigenlijk bruikbare werktuigen; want eerst hierdoor is het mogelijk, om de temperatuur in getallen uit te drukken, ze te vergelijken, en om de wetten van de warmte op te sporen.

Tot het vervaardigen van thermometers mag men natuurlijk slechts zulke glazen buizen bezigen, welke volkomen cilindrisch zijn, hetgeen men daaraan ziet, dat een kwikzilverzuiltje, dat men in eene zoodanige buis heen en weer laat loopen, overal dezelfde lengte heeft.

Nadat men aan de buis eenen bol heeft geblazen, wordt zij met kwikzilver gevuld.

Om dit te doen, wordt de bol verwarmd, om de daarin aanwezige lucht te doen uitzetten, en daarna dompelt men de opene punt van de buis snel in kwikzilver (fig. 466). Bij het verkoelen van den bol stijgt het kwikzilver in de buis tot aan den bol omhoog. Het is reeds voldoende, wanneer er op deze wijze slechts eenige droppels in den bol komen. Zoo men nu den toestel omkeert, ten einde den bol op nieuw te verwarmen, tot dat de vloeistof begint te koken, dan wordt de geheele ruimte der buis met kwikzilverdampen gevuld, de lucht wordt er volkomen uitgedreven, en zoo men nu nogmaals het opene einde der buis snel in kwikzilver dompelt, dan kan men verzekerd wezen, dat de bol volkomen met kwikzilver gevuld raakt.

Fig. 466.



Eer de thermometer gesloten wordt, moet hij *geregeld* worden, d. i. men voegt nog zooveel kwikzilver bij in de buis, of giet er zooveel uit, tot dat de hoogte van de kwikkolom juist beantwoordt aan de gemiddelde temperatuur, voor welke de thermometer bestemd is; daarna wordt hij toegesmolten.

De *verdeeling in graden*, het *gradueeren*, bestaat daarin, dat men *twee vaste punten* op de buis teekent, en de tusschenruimte (de fundamentaal-afstand) in gelijke deelen verdeelt. Voor deze vaste punten kiest men doorgaans het vriespunt en het kookpunt van het water. Ten einde het vriespunt te bepalen, steekt men den thermometerbol en de buis, tot zoo ver als het kwikzilver reikt, in een vat met fijn gestoten

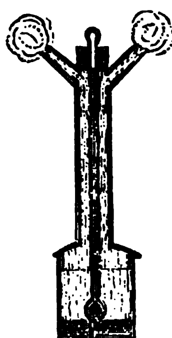
ijs (fig. 467). Zoo de temperatuur der omringende lucht hooger is dan het vriespunt, smelt het ijs, en de geheele massa neemt daarbij de vaste temperatuur van het vriespunt aan. Al spoedig krijgt ook de thermometer deze temperatuur, deze blijft dan van dit oogenblik af stationnair, en men behoeft nu slechts naauwkeurig het punt op de buis aan te teekenen, waar juist de top van de kwikkolom staat. Dit punt wordt eerst aangeduid met inkt, en later met eenen diamant op de buis gegraveerd.

Ter bepaling van het kookpunt, neemt men een vat met eenen langen hals (fig. 468) in hetwelk men gedestilleerd water aan het koken brengt.

Fig. 467.



Fig. 468.



Nadat dit eenigen tijd gekookt heeft, zijn al de deelen van het vat gelijkmatig verwarmd, en de waterdamp ontwijkt door de openingen aan de zijden van het vat. De thermometer, welke in dit vat hangt, is dan van alle zijden omgeven door eenen damp, wiens temperatuur gelijk is aan die der bovenste laag van het water. Het kwikzilver rijst hierbij zeer spoedig tot een punt, waarop het blijft staan, en waar het niet boven gaat. Men duidt dit punt op dezelfde wijze aan als het nulpunt. Wanneer op dit oogenblik de hoogte van den barometer niet juist 760mm bedraagt, dan moet men eene correctie bewerkstelligen, wier waardij nader, waar over het koken wordt gehandeld, zal worden aangegeven.

Aan den honderdgradigen thermometer wordt de ruimte tusschen de beide vaste punten in honderd deelen verdeeld, en op deze wijze krijgt men de *thermometerschaal.*

Al de thermometers, welke op deze wijze zijn vervaardigd, zijn vergelijkbare werktuigen, d. i. zij wijzen bij gelijke temperatuur een gelijk getal van graden aan.

Men kan kwikthermometers vervaardigen, die tot 360 graden gaan, maar hooger kan men daarmede niet komen, omdat men anders te digt bij het kookpunt van kwikzilver (400°) komt. Beneden nul zijn de aanwijzingen van den kwikthermometer juist tot op —30° of —35°. Bij nog lagere temperatuur komt men te digt bij het vriespunt van het kwikzilver (—40°). Digt bij die temperaturen namelijk, bij welke de aggregatietoestanden der ligchamen veranderen, is hunne uitzetting niet meer regelmatig.

Niet bij alle thermometers is de fundamentaal-afstand in 100 graden verdeeld. In Duitschland en in Frankrijk is de thermometer van RÉAUMUR nog veelvuldig in gebruik; bij dezen is de genoemde afstand in 80 graden verdeeld. Bij weten-

schappelijke onderzoekingen bedient men zich bijna uitsluitend van den door CELSIUS het eerst aangegeven honderddeeligen thermometer. Men kan de graden van den thermometer van CELSIUS gemakkelijk herleiden tot die van RÉAUMUR, en omgekeerd, want daar

$$100^\circ\ C = 80^\circ\ R,$$

is $1^\circ\ C = 0{,}8^\circ\ R,$

en $1^\circ\ R = 1{,}25^\circ\ C.$

Bijgevolg zijn $x^\circ\ C = x.\ 0{,}8^\circ\ R$, en $n^\circ\ R = n.\ 1{,}25^\circ\ C$. Men kan dit in woorden uitdrukken op de volgende wijze: Ten einde graden van RÉAUMUR te herleiden tot die van CELSIUS, wordt het getal der graden van RÉAUMUR vermenigvuldigd met 1,25 of met $^5/_4$. Zoo men omgekeerd graden van CELSIUS tot die van RÉAUMUR wil herleiden, vermenigvuldigt men het gegeven aantal graden met 0,8, of, wat hetzelfde is, met $^4/_5$.

In Engeland bedient men zich uitsluitend van de schaal van FAHRENHEIT, wier nulpunt niet gelijk is aan dat der beide bovengenoemden. Het nulpunt op den thermometer van FAHRENHEIT komt overeen met $-17^7/_9$ der schaal van CELSIUS. Het smeltpunt van ijs is op die schaal aangeduid door 32, het kookpunt van water door 212, zoodat dus de afstand tusschen het vriespunt en het kookpunt van het water hier in 180 graden verdeeld is. Naar hunne absolute waardijen, zijn dus

$$180^\circ\ F = 100^\circ\ C,$$

derhalve $1^\circ\ F = {}^5/_9{}^\circ\ C,$

en $1^\circ\ C = {}^9/_5{}^\circ\ F.$

Doch om de aanwijzingen op den eenen thermometer te herleiden tot die van den anderen, moet men in aanmerking nemen, dat hunne nulpunten niet aan elkander gelijk zijn. Zoo men graden van FAHRENHEIT wil herleiden tot die van CELSIUS, moet men van het gegeven aantal graden van FAHRENHEIT 32 aftrekken, en de rest vermenigvuldigen met $^5/_9$. Bijgevolg zijn:

$$x^\circ\ F = (x-32.)\ {}^5/_9{}^\circ\ C.$$

Zoo men de graden van CELSIUS tot die van FAHRENHEIT zal herleiden, vermenigvuldigt men met $^9/_5$ en telt bij het product 32 op. Derhalve zijn:

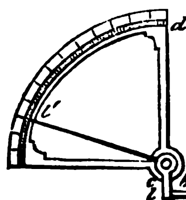
$$ij^\circ\ C = (ij.\ {}^9/_5) + 32\ F.$$

Ten einde de vergelijking gemakkelijker te maken, moge de navolgende tabel dienen:

CELSIUS.	REAUMUR.	FAHRENHEIT.
— 20	— 16	— 4
— 10	— 8	+ 14
0	0	32
+ 10	+ 8	50
20	16	68
30	24	86
40	32	104
50	40	122
60	48	140
70	56	158
80	64	176
90	72	194
100	80	212

73 **Uitzetting van vaste ligchamen.** Daar de uitzetting, welke vaste ligchamen door de warmte ondergaan, zeer gering is, heeft men middelen bedacht, om die voor de waarneming op eene grootere schaal merkbaar te maken. Het eenvoudigste kan men dit doel op de volgende wijze bereiken: Eene staaf *bb'*, fig. 469, van het te onderzoeken ligchaam, steunt met haar eene uiteinde tegen het vaste ligchaam *ff'*, terwijl haar andere einde steunt tegen den korteren arm van eenen hefboom van de eerste soort *lcl'*, welke om het vaste punt *c* bewegelijk is. Wanneer nu het einde *l* van den korteren hefboomsarm door de uitzetting der staaf *bb*, hoe weinig dan ook, wordt voortbewogen, dan zal het einde van den anderen hefboomsarm *l'*, eene veel grootere ruimte doorloopen, en men kan op deze wijze nog de geringste verlenging van de staaf *bb'* waarnemen, zoo slechts *cl'* zeer groot is in vergelijking van *cl*.

Fig. 469.



Met behulp van toestellen, welke in de hoofdzaak op het boven medegedeelde beginsel berusten, is de uitzetting van onderscheidene ligchamen opgespoord. Hier volgt die van eenige der belangrijkste ligchamen:

Voor eene verhooging van temperatuur van 0—100° C. zet zich uit:

Platinum	0,00086	of $^1/_{1167}$	zijner	lengte	bij	0°.
Glas (gemiddeld) . .	0,00087	„ $^1/_{1147}$	„	„	„	„
Staal, gehard	0,00124	„ $^1/_{807}$	„	„	„	„
IJzer	0,00122	„ $^1/_{819}$	„	„	„	„
Koper.	0,00171	„ $^1/_{584}$	„	„	„	„
Tin	0,00217	„ $^1/_{463}$	„	„	„	„
Lood	0,00285	„ $^1/_{351}$	„	„	„	„
Zink.	0,00294	„ $^1/_{340}$	„	„	„	„

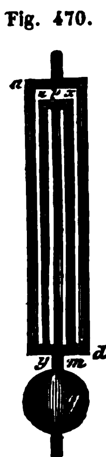
Bij gevolg zal eene stalen staaf, welke bij 0° eene lengte van 807 lijnen heeft, bij 100° eene lengte van 808 lijnen hebben; eene zinkstaaf van slechts 340 lijn zal zich echter bij eene verhooging van temperatuur van 0° tot 100° eveneens reeds ter lengte van eene lijn uitzetten. Onder al de bovenstaande ligchamen wordt platinum het minst, en zink het meest uitgezet.

Tusschen 0 en 100° zetten bijkans alle ligchamen zich regelmatig uit, d. i. hunne uitzetting is evenredig aan de verhooging van temperatuur. Bij eene temperatuursverhooging van 0—10° zet zich het koper dus 0,000171, bij eene verhooging van temperatuur van 0 tot 1° zet het zich tot 0,0000171 zijner lengte bij 0°.

Het getal, hetwelk uitdrukt om het hoeveelste gedeelte zijner lengte bij 0° een vast ligchaam zich bij eene temperatuursverhooging van 0°—100° uitzet, noemt men de lineaire uitzettingscoëfficient. De bovenstaande tabel geeft dus de coëfficienten van platinum, glas, staal, enz.

De menigvuldige practische toepassingen welke men van de uitzetting van vaste ligchamen door de warmte maakt, kunnen wij hier slechts met enkele woorden opnoemen.

Fig. 470.



Daar alle ligchamen door de warmte worden uitgezet, zal een slinger, die uit eene enkelvoudige staaf gevormd is, bij hoogere temperatuur langer zijn dan bij eene lagere temperatuur, hij zal dus in den zomer langzamer slingeren dan in den winter, en indien men een zoodanigen slinger bezigt om den gang van een uurwerk te regelen, dan zal deze afhankelijk zijn van de temperatuur. Deze nadeelige invloed der uitzetting is door de *compensatieslingers* vermeden. In fig. 470 is een compensatieslinger van de eenvoudigste soort afgebeeld. Op den ondersten horizontalen beugel van het raam *ad*, hetwelk van ijzer vervaardigd is, zijn twee verticale staven bevestigd van een ander metaal, dat voor sterker uitzetting vatbaar is dan het ijzer. Deze staven dragen eenen horizontalen beugel *nx*, aan welken weder eene ijzeren staaf hangt, welke de lens draagt.

Door de verlenging van de buitenste en middelste ijzeren staaf daalt de lens, door de uitzetting der in de figuur donkerder geteekende staven wordt hij omhoog gevoerd. Gesteld, elke der heldere staven verlenge zich om 1^{mm}, dan daalt de

lens daardoor 2^{mm}; maar zoo nu ieder der donker geteekende staven zich om 2^{mm} verlengt, dan wordt de lens daardoor wederom 2^{mm} omhoog gevoerd, en de lengte van den slinger blijft dus onveranderd.

Indien een ligchaam door verwarming wordt uitgezet, dan grijpt dit met groote kracht plaats, d. i. dat hierdoor zeer belangrijke hindernissen, welke de uitzetting verhinderen, worden overwonnen. Even zoo trekt een ligchaam zich bij de verkoeling met groote kracht zamen. Zoo men eenen verhitten ijzeren hoepel zoodanig om een wiel legt, dat het er maar even om past, dan wordt het wiel na de bekoeling zoo stevig omklemd, als dit door geen ander middel kan worden verkregen.

74 **De kubieke uitzetting** is de vergrooting, welke het volumen van een ligchaam door de verhooging van temperatuur ondergaat. Ook hier wordt het volumen van het ligchaam bij C° als punt van uitgang genomen, en verstaat men hier door uitzettingscoëfficient het getal, hetwelk aangeeft, om het hoeveelste gedeelte van zijn oorspronkelijke volumen bij 0° een ligchaam zich uitzet, als men het tot op 100° verwarmt. Wanneer men zegt, dat de uitzettingscoëfficient van het kwikzilver 0,018 is, dan beduidt dit, dat het kwikzilver zich bij eene temperatuursverhooging van 100° uitzet om $^{18}/_{1000}$ van zijn volumen bij 0°. Indien men den uitzettingscoefficient en het volumen van een ligchaam bij C° kent, dan kan men het volumen voor elken graad van temperatuur des ligchaams berekenen, ten minste, indien de uitzetting van het ligchaam tot op die temperatuur regelmatig voortgaat.

Voor druipend vloeibare en bij gasvormige ligchamen wordt door de proef onmiddellijk de ligchamelijke uitzetting berekend, terwijl bij vaste ligchamen de cubische uitzetting moet worden berekend uit de waargenomen lineaire uitzetting.

De uitzettingscoëfficient voor de ligchamelijke uitzetting van vaste ligchamen is driemaal grooter dan de uitzettingscoëfficient voor de lineaire uitzetting.

Hiervan kan men zich door de volgende redenering overtuigen: l zij de zijde van eenen dobbelsteen bij C°, dan is l^3 het volumen van dien dobbelsteen, hetwelk wij door v willen aanduiden. Zoo nu de dobbelsteen verwarmd wordt tot 100°, dan is elke zijde l $(1 + r)$, als wij door r den coëfficient voor de lengte-uitzetting verstaan, en derhalve is dan de inhoud van den dobbelsteen.

$$v' = l^3 (1 + r)^3 = l^3 (1 + 3 r + 3 r^2 + r^3)$$

Daar evenwel r eene zeer kleine grootheid is, kan men zijne hoogere magten weglaten, en de waardij van v' kan dus worden

herle..d tot

boven

$$v' = l^3 (+ 3 r) = v (1 + 3 r).$$

...rsche...lumen v is dus om 3 rv toegenomen, en de uitzet-

Het vo... der ...ent voor het volumen is derhalve 3 r.

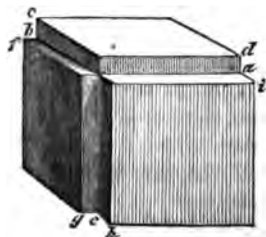
tingscoëffic... eene. trachten, om het bovenstaande op den geometri-

Wij zullen ...nschouwelijk voor te stellen.

schen weg aa

In fig. 471 zij abc een uit vaste stof gevormde dobbelsteen bij 0°. Indien nu deze dobbelsteen bij eene temperatuursverhooging tot 100° zich enkel naar boven uitzette, dan zou zijn volumen toenemen om het vierkante vlak *adeb*, welks inhoud *vr* is, zoo *v* het volumen van den onspronkelijken dobbelsteen en *r* de lineaire uitzettingscoëfficient is. Zoo de teerling zich enkel uitzette naar de linker zijde, dan zou hij hier toenemen om een even groot vlak *cgbfh*, en een derde vlak, *bihc* eindelijk, welks inhoud eveneens *rv* is, zou het resultaat wezen van de uitzetting des ligchaams naar voren. De kubieke inhoud van deze drie vlakken te zamen is 3 *rv*. Ter vervolkomening van den door de warmte uitgezetten dobbelsteen, zou wel is waar daarbij nog de inhoud moeten geteld worden van de hoeken, welke tusschen gevoegd zijn op de plaatsen, waar de beschouwde vlakken met hunne kanten aan elkander raken, doch de grootte van deze hoeken is zoo onbeduidend, dat zij verwaarloosd kan worden, daar toch de grootte der lineaire uitzetting *da* zeer klein is in vergelijking met de lengte der zijden van den oorsponkelijken dobbelsteen, en men kan dus 3 *rv* zonder merkelijke fout voor de geheele vermeerdering van het volumen aannemen.

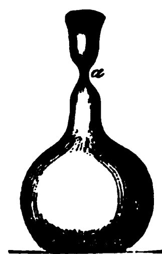
Fig. 471.



De coëfficient voor de lengteuitzetting van het glas b. v. is 0,00087; bij eene temperatuursverhooging van 0° tot 100° zal derhalve eene massa glas om 0,00251 van haar volumen toenemen. Ditzelfde geldt natuurlijk ook voor den inhoud van een glazen vat. Indien een glazen vat bij 0° juist 100 kubieke duimen inhoudt, dan zal zijn inhoud bij 100° tot 1002,51 kubieke duimen zijn toegenomen.

Uitzetting der vochten. Ter bepaling der uitzetting van vele 75 druipend vloeibare ligchamen, kan men den in fig 472 afgebeelden toestel bezigen. De hals van een glazen vat van genoegzame grootte is op eene plaats zeer naauw uitgetrokken, zoodat er boven de vernaauwde plaats eene soort van trechter bestaat. De naauwste plaats van den hals *a* wordt op de eene of andere wijze van buiten gemerkt. De flesch wordt nu gevuld met het te onderzoeken vocht, zoodanig dat het vocht boven *a* in den trechter staat, en dan het geheel verkoeld tot op 0°, door de flesch met smeltende sneeuw of smeltend ijs te omgeven. Zoodra het vocht tot op 0° verkoeld is, verwijdert men al het vocht, hetwelk nog boven het merk staat. Wordt nu de zoodanig gevulde flesch gewogen, en van dit gewigt dat van de flesch afgetrokken, dan krijgt men het gewigt van

Fig. 472.



het vocht, dat bij 0° in de flesch bevat is. Indien deze nu verwarmd wordt, dan wordt het vocht uitgezet, en het rijst tot boven het merk *a* in den trechter. Heeft men de verwarming voortgezet tot op eene bepaalde temperatuur, b. v. 100°, dan giet men al het boven *a* staande vocht uit den trechter, en weegt dan op nieuw. Na deze beide wegingen kan men dan met gemak de schijnbare uitzetting berekenen.

De op deze wijze bepaalde uitzetting is, gelijk reeds gezegd werd, slechts de schijnbare; de ware uitzetting van het vocht vindt men eerst, als men bij de schijnbare uitzetting nog de vergrooting telt, die de inhoud van het vat door de warmte ondergaat.

Bij eene verhooging van temperatuur van 0 tot 100° zetten zich uit:

Kwikzilver	om	0,018
Water . . .	„	0,045
Wijngeest .	„	0,100
Olie	„	0,100

ongeveer van hun volumen bij 0°. Bij wijngeest en olie is dus de uitzetting door de warmte *zeer* belangrijk, zoodat dit in den handel wel in aanmerking verdient te komen.

De meeste vloeistoffen zetten zich van 0 tot 100° niet regelmatig uit. Men kan dit het best aantoonen met thermometers, die met verschillende vochten zijn vervaardigd, en uit de vergelijking van hunnen gang met den kwikthermometer. Zoo men b. v. eenen waterthermometer, die langen tijd aan eene temperatuur van 0° was blootgesteld, verwarmt, dan rijst het water niet onmiddellijk, maar het daalt, en het begint eerst te rijzen, zoodra de temperatuur boven $5^3/_4$° gestegen is. Indien men de uitzetting van het glas in rekening brengt, dan blijkt hieruit, dat het water bij 4° een maximum van digtheid bezit, d. i. dat het water bij 4° digter is dan bij elke andere temperatuur. Water van 4° zal zich altijd uitzetten, zoowel bij verwarming als bij bekoeling.

Ook de wijngeest zet zich niet geheel regelmatig uit, en een wijngeest-thermometer kan daarom niet bij alle graden met eenen kwik-thermometer overeenkomen.

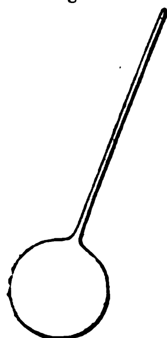
77 **Uitzetting der gazen.** De gazen worden door verwarming veel sterker uitgezet dan de vaste en druipend vloeibare ligchamen, de uitzettings-coëfficient der gazen is voor alle temperaturen dezelfde, en eindelijk worden de gazen steeds uitgezet in rede tot de verhooging van temperatuur.

Bij eene temperatuursverhooging van 100°, bedraagt de uitzetting der gazen 0,365 van hun volumen bij 0°.

Ter bepaling van den uitzettings-coëfficient der gazen zijn onderscheidene methoden aangewend, onder welke de volgende wel de eenvoudigste is: Een glazen bol is, zooals men in fig. 473 ziet, aan het einde eener dunne glazen buis geblazen; het andere einde dier buis is in eene fijne punt uitgetrokken. Zoo

men nu den bol in kokend water dompelt, natuurlijk zoodanig dat de punt tamelijk ver boven het water uitsteekt, dan zal de lucht in den bol tot 100° verwarmd worden, en ten gevolge dier verwarming voor een gedeelte uit den bol treden. De punt wordt nu voor eene wijngeestlamp toegesmolten, en men laat den bol langzamerhand verkoelen. Wanneer hij geheel koud geworden is, keert men den bol om, steekt de punt in kwikzilver en breekt haar af; het kwikzilver zal nu natuurlijk in den bol dringen, omdat de in hem bevatte lucht door de voorafgegane verwarming verdund is.

Fig. 473.

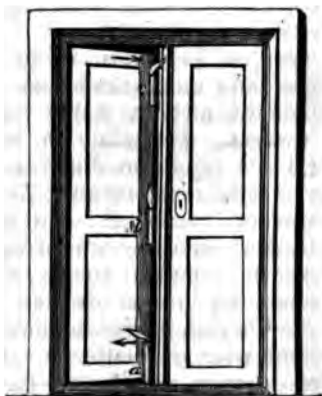


Wordt nu de bol door het omleggen van smeltende sneeuw tot op 0° verkoeld, dan zal het ingedrongene kwikzilver naauwkeurig de ruimte opvullen, om welke zich de in den bol teruggebleven lucht bij eene temperatuursverhooging van 0°—100° uitzet. Zoo men daarna de hoeveelheid van het ingedrongen kwikzilver weegt, en vervolgens het gewigt bepaalt van de hoeveelheid kwikzilver, welke de geheele bol kan bevatten, dan kan men hieruit den uitzettingscoefficient der lucht berekenen.

Wanneer de lucht door de warmte wordt uitgezet, dan wordt zij specifiek ligter; de verwarmde lucht zal dus omhoog rijzen, en de minder warme naar den grond moeten dalen. In eene verwarmde kamer rijst de warme lucht naar den zolder, van boven stroomt de warme lucht uit al de spleten en voegen der kamer weg, terwijl er van onder koude lucht instroomt.

Wanneer men in den winter de, naar een koud vertrek voerende, deur van eene warme kamer een weinig opent, en eene brandende kaars boven aan de reet houdt, zoo als men in fig. 474 ziet, dan wordt de vlam der kaars naar buiten gerigt, hetgeen aantoont, dat er een stroom uit het warme naar het koude vertrek gaat. Laat men de kaars langzamerhand zakken, dan ziet men, dat de vlam meer en meer regt komt te staan; ongeveer in het midden der reet staat zij geheel regt en wordt niet door luchtstroomen bewogen; maar zoodra men de kaars meer naar beneden laat gaan, dan wordt de vlam naar binnen gedreven. Men ziet dus, dat de verwarmde lucht van boven uitstroomt, en dat er daarentegen van onder koude lucht instroomt.

Fig. 474.



Dit is de reden, dat het op den grond van eene warme kamer veel koeler is dan aan den zolder, dat hooge kamers minder gemakkelijk worden verwarmd dan lage, enz.

In den schoorsteen wordt de lucht door het vuur verwarmd, de verwarmde lucht rijst omhoog, en van onder af dringt koude lucht in, welke, door het vuur heen strijkende, hieraan gestadig zuurstof toevoert. De luchtstroom, welke door den schoorsteen wordt te weeg gebragt, voert derhalve die hoeveelheid lucht in het vuur, welke tot het onderhouden van eene levendige verbranding noodig is. Het spreekt van zelf, dat er tusschen de grootte van den vuurhaard en de hoogte en wijdte van den schoorsteen de juiste verhoudingen moeten bestaan, indien men dit doel zoo volledig mogelijk wil bereiken.

Ook de glazen der lampen hebben ten doel, om altijd eene luchttrekking te onderhouden, waardoor aan de vlam die hoeveelheid zuurstof kan worden toegevoerd, die voor eene levendige verbranding noodzakelijk is.

TWEEDE HOOFDSTUK.

Verandering van den aggregatie-toestand.

78 **Het smelten.** Men zal gemakkelijk begrijpen, dat het *smelten*, d. i. de overgang eens ligchaams uit den vasten toestand in den druipend vloeibaren, een verschijnsel is, hetwelk door de warmte wordt voortgebragt, en dat geene andere kracht in de natuur in staat is, om deze werking voort te brengen. Men kan het ijs verbrokkelen en tot poeder brengen, men kan er met alle mechanische en andere middelen op inwerken, maar het zal niet in water veranderen, zoo niet de warmte er op inwerkt. Hetzelfde is het geval met was, met lood enz. Of een ligchaam dus vast of vloeibaar zij, is enkel afhankelijk van zijne temperatuur. Zoo de aarde op eenen anderen afstand van de zon ware, zou zij een geheel ander voorkomen aanbieden, dan tegenwoordig; zeer digt nabij zijnde, zouden de meeste metalen steeds vloeibaar zijn; op grooteren afstand daarentegen zou de zee eene vaste massa wezen, er bestond geen water, en waarschijnlijk in het geheel geene vloeistof meer, door wier circulatie de verschijnselen van het leven van dieren en planten worden voortgebragt.

Daar de warmte alle ligchamen doordringt en uitzet, volgt hieruit reeds dadelijk de vraag, of zij ook alle vaste ligchamen *kan* doen smelten. In dit opzigt bieden de ligchamen groote

verschillen aan: eenigen zijn *gemakkelijk smeltbaar*, en gaan reeds bij lage temperaturen in den druipend vloeibaren toestand over, zoo als b. v. ijs, phosphorus, zwavel, was, vet, enz.; anderen behoeven tot smelting eene veel hoogere temperatuur, zoo als tin, lood, enz.; en eindelijk zijn er ligchamen, die eerst bij zeer hooge temperaturen smelten, zoo als goud, ijzer en platinum. Tot heden is men er nog niet in geslaagd, om de kool te smelten, ofschoon onderscheidene natuurkundigen beweren, aan de kanten van diamanten, welke zij aan proeven daaromtrent hadden onderworpen, sporen van smelting te hebben waargenomen. Uit de analogie mag men besluiten, dat er geene absoluut onsmeltbare ligchamen bestaan, en dat zij allen zouden smelten, zoo men slechts genoegzaam hooge temperaturen kon voortbrengen.

Organische ligchamen worden onder den invloed der warmte meestal ontleed, eer zij smelten.

Indien een ligchaam uit den vasten toestand in den druipend-vloeibaren overgaat, neemt men twee merkwaardige verschijnselen waar: Vooreerst, blijft het ligchaam vast tot op eene bepaalde *vaste* temperatuur, die voor hetzelfde ligchaam onveranderlijk is, en bij welke alleen de smelting kan beginnen. Ten tweede, wordt de temperatuur onder het smelten niet veranderd, hoeveel warmte er ook in het ligchaam moge dringen. Er wordt dus bij het smelten warmte opgeslorpt, die zich als het ware in het ligchaam verbergt, zonder verder op het gevoel of op den thermometer te werken. *De onveranderlijkheid van het smeltpunt en de opslorping der latente warmte* zijn twee wezentlijke voorwaarden voor het smelten. De onderstaande tabel bevat de smeltpunten van onderscheidene zelfstandigheden:

Gehamerd Engelsch ijzer	1600	graden
Week Fransch ijzer	1500	„
Het moeijelijkst smeltbare staal . . .	1400	„
Het gemakkelijkst smeltbare staal . .	1300	„
Graauw gietijzer, tweede smelting . .	1200	„
Gemakkelijk smeltbaar wit gietijzer . .	1050	„
Goud	1250	„
Zilver	1000	„
Brons . . . . , ...	900	„
Antimonium	432	„
Zink	360	„
Lood	334	„
Bismuth	256	„
Tin	230	„
Legering uit 5 deelen tin en 1 deel lood	194	„
Zwavel	109	„
Legering uit 8 deelen bismuth, 5 deelen lood en 3 deelen tin	100	„
Legering uit 3 deelen bismuth, 1 deel lood en 1 deel tin	94	„

Sodium	90	„
Potassium	58	„
Phosphorus	43	„
Stearinezuur	70	„
Week was	68	„
Geel was	61	„
Stearine	49-43	„
Sperma ceti	49	„
Azijnzuur	45	„
Zeep	33	„
IJs	0	„
Terpentijnolie	—10	„
Kwikzilver	—39	„

79 **Gebondene warmte.** Er is eene aanmerkelijke hoeveelheid warmte noodig, om ijs of sneeuw van 0° tot water van 0° te brengen. Die warmte is in het water *gebonden*, zij is voor het gevoel en voor den thermometer als het ware verdwenen.

Wanneer een pond water van 79° vermengd wordt met een pond sneeuw van 0°, dan krijgt men twee pond water van 0°. Alle warmte derhalve, die in het heete water bevat was, is voor den thermometer spoorloos verdwenen, en heeft enkel gediend, om sneeuw van 0° te veranderen in water van 0°.

Wanneer sneeuw of gestampt ijs en keukenzout met elkander vermengd worden, dan vereenigen zij zich tot eene druipend vloeibare zoutoplossing; hierbij daalt de temperatuur meer en meer, dewijl er door den overgang van twee vaste ligchamen in den druipend vloeibaren toestand veel warmte gebonden wordt. Hierop berusten de zoogenaamde *koudmakende mengsels*.

Duiden wij de hoeveelheid warmte welke noodig is, om de temperatuur van een pond water met 1° te verhoogen, door 1 aan, dan is de hoeveelheid warmte, welke bij de smelting van een pond sneeuw *gebonden* of *latent* wordt, gelijk 79.

Even zoo als er bij de smelting van ijs en sneeuw warmte gebonden wordt, is dit ook het geval bij het smelten van andere ligchamen. De bepalingen van IRVINE hebben voor de latente warmte van eenige ligchamen de onderstaande waardijen geleverd:

Zwavel	80
Lood	90
Was	97
Zink	274
Tin	278
Bismuth	305

De beteekenis van deze getallen is gemakkelijk te begrijpen: terwijl een pond sneeuw bij zijne smelting 79 warmte eenheden, d. i. 79 maal zooveel warmte behoeft, als noodig is, om de temperatuur van een pond water met 1° te verhoogen, zijn er voor het smelten van een pond zwavel 80, van een pond lood, was zink enz. 90, 97, 274 enz. zoodanige warmte-eenheden noodig.

Even als er bij het smelten van een vast ligchaam warmte gebonden wordt, grijpt er ook eene binding van warmte plaats, als een vast ligchaam door oplossing in den druipend vloeibaren staat overgaat. Men kan zich hiervan gemakkelijk overtuigen, als men een tot poeder gebragt, ligt oplosbaar zout, b. v. salpeter, in het water werpt en door omroeren de oplossing bevordert: de temperatuur van het water zal daarbij eenige graden dalen.

Tot poeder gebragt Glauberzout, met zoutzuur overgoten, geeft eene verlaging van temperatuur van + 10° tot — 17° C.

Het vast worden. Bij den overgang der ligchamen uit den 80
druipend vloeibaren in den vasten toestand, neemt men geheel dezelfde verschijnselen waar, als bij het smelten: Het vast worden grijpt namelijk, vooreerst, plaats bij eene temperatuur, welke aan het smetpunt beantwoordt, en, ten tweede, wordt al de latente warmte, welke bij het smelten gebonden was, bij het vast worden weder vrij.

Een verschijnsel, hetwelk ten bewijze strekt van het vrij worden der gebonden warmte bij het vast worden van druipend vloeibare ligchamen, is het volgende: In het jaar 1714 had FAHRENHEIT waargenomen, dat onder zekere omstandigheden het zuivere water verkoeld kon worden tot op — 10° tot — 12°, zonder te bevriezen. Dikwijls kan men dit reeds in de vrije lucht waarnemen, maar zekerder zal men het verschijnsel zien, wanneer men zorg draagt, om het afkoelende water slechts onder eene geringe drukking van lucht of damp te stellen. Men kan dit te weeg brengen, door in eene glazen buis, die van boven in eene fijne punt uitloopt, water aan het koken te brengen, en als men denkt, dat door de waterdampen al de lucht is uitgedreven, de fijne punt toe te smelten. Boven het water in de buis is dan nog enkel waterdamp aanwezig, welke bij lage temperaturen slechts eene zeer geringe drukking uitoefent. Wanneer men eene zoodanige glazen buis aan eene temperatuur van — 12° blootstelt, dan blijft het water nog vloeibaar, zoo lang het in rust is, maar bij schudding bevriest de geheele hoeveelheid van het water plotseling. Zoo er nu in het inwendige van de buis een thermometer, met zijnen bol in het water gedompeld, is aangebragt, en op welken men de lage temperatuur van het water kan aflezen, dan ziet men, dat deze thermometer, op het oogenblik, waarop het water vast wordt, tot op 0° rijst.

De snelheid, waarmede het vast worden onder deze omstandigheden plaats grijpt, en het rijzen van den thermometer zijn twee verschijnselen, welke gemakkelijk kunnen worden verklaard. De latente warmte der eerste deeltjes, welke bevriezen, gaat op de naburige, nog vloeibare deeltjes over. Deze worden wel verwarmd, maar niet genoeg, om het vast worden te verhinderen. Ten gevolge daarvan ontstaat dan het tweevoudige verschijnsel van vast worden en van verwarming.

Wanneer het vast worden plaats grijpt bij de gewone, daarvoor bepaalde temperatuur, dan geschiedt het altijd slechts langzaam, en zonder verhooging van temperatuur. Als b. v. het water bij 0° bevriest, dan begint het vast worden gelijktijdig op verschillende punten, en op deze punten geven de het eerst vast wordende deeltjes hunne latente warmte aan de naburige deeltjes af, welke daardoor nog gedurende eenige oogenblikken vloeibaar worden gehouden. Dit is de reden van het voorkomen van dunne ijsplaatjes en fijne ijsnaalden, die op velerlei wijzen in de vloeistof als het ware voortgroeijen. Op deze wijze verspreidt de latente warmte zich langzamerhand; zonder de latente warmte zou de geheele vloeibare massa, afgekoeld zijnde tot op de temperatuur van het vast worden, op eens in den vasten toestand overgaan.

Ook wordt er telkens warmte vrij, wanneer eene vloeistof met een ander ligchaam eene vaste verbinding daarstelt. Zoo verbinden zich de gebrande gyps, en de gebrande kalk met water tot vaste ligchamen, die door de scheikundigen hijdraten worden genoemd. Het water gaat dus bij deze verbinding in den vasten toestand over, en er moet derhalve warmte vrij worden. Hieruit is de hooge temperatuur te verklaren, welke ontstaat door het begieten van gebrande kalk met water.

81 **Vorming van dampen.** Wanneer eene vloeistof in aanraking verkeert met de lucht, dan neemt hare hoeveelheid meer en meer af, en na verloop van korteren of langeren tijd is zij geheel verdwenen. Het water, hetwelk na eenen regen den grond bedekt, wederstaat niet aan het waaijen van eenen droogen wind, en aan de inwerking van de zonneschijn, maar het verdwijnt, niet alleen omdat het in den grond indringt, maar ook omdat het in de lucht verdampt.

Het verschijnsel van verdamping doet zich eerder voor, wanneer men eene schaal met water boven het vuur aan het koken brengt; in korten tijd is al het water verdwenen, en toch is er niets door het vat opgeslorpt. Daaruit blijkt, dat de vloeistoffen hunnen aggregatie-toestand kunnen veranderen, onzigtbaar en expansiebel worden gelijke de gazen. Met den naam van *damp* bestempelt men eene in den gasvormigen toestand overgegane vloeistof.

Gedurende langen tijd koesterde men de verkeerde meening, dat de dampen op zich zelve niet bestaan konden, en dat zij even zoo in de lucht waren opgelost, als de zouten in het water; en dat er verder, om een vocht gasvormig te maken, even zoo een oplosmiddel, de lucht, noodig was, als er een oplosmiddel, bv. water, noodig is, om vaste zouten tot den druipend vloeibaren toestand te brengen. De onjuistheid van deze meening kan men aantoonen, en te gelijk de wetten van de vorming van dampen nagaan, wanneer men die vorming van dampen in het luchtledige doet plaats grijpen. Tot dit doel kan vooral het Torricellische luchtledig dienen, niet alleen

omdat men hier eene volkomen luchtledige ruimte heeft, maar ook, omdat wij in de nederdrukking der bewegelijke kwikzilverkolom een middel bezitten, om de uitzetting der dampen te meten.

In een wijd, met kwikzilver gevuld vat *vv'* (fig. 475) zijn drie Torricellische buizen naast elkander geplaatst, en in allen staat het kwikzilver even hoog. Zoo men nu met eene kromme pipet een weinig water in de eene buis *b'* brengt, dan rijst het al spoedig tot aan het Torricellische luchtledig omhoog, en oogenblikkelijk daalt ook de top van de kwikzilverkolom eenige millimeters. Aan het gewigt van de kleine laag waters, welke nu op den top van de kwikkolom drijft, kan deze daling niet worden toegeschreven; indien men water genomen heeft, waaruit door koking de lucht geheel is gedreven, zoo als men doen moet om de proef beslissend te maken, dan kan men deze daling ook niet toeschrijven aan de lucht, die zich van het water zou afscheiden. Er moeten zich derhalve uit het water dampen hebben ontwikkeld, die, even als de gazen, eene zekere spanning hebben, want deze waterdampen werken even zoo, alsof men eene kleine hoeveelheid lucht in de ledige ruimte had laten oprijzen.

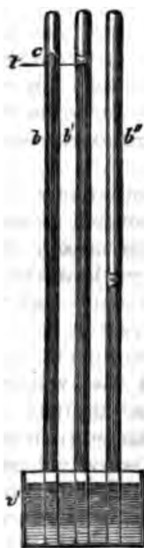


Fig. 475.

De grootte der nederdrukking geeft de maat aan, voor de spankracht der waterdampen. Stellen wij, dat de door de waterdamp neêrgedrukte top van den kwikkolom *t* 15mm lager staat dan de top *c* in den anderen barometer, boven wien nog een volkomen luchtledig bestaat, dan is het duidelijk, dat de waterdampen op den top *t* even zoo sterk drukken, als eene kwikzilverkolom van 15mm hoogte. De nederdrukking van 15mm is derhalve wezenlijk de maat voor de spankracht van den waterdamp.

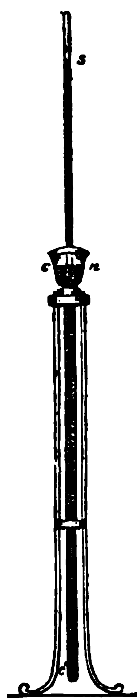
Zoo men in de derde barometerbuis *b''* in plaats van water een ander vocht b. v. zwavelaether brengt, dan zal men eene veel aanmerkelijker daling der kwikkolom waarnemen, dan bij het water, want bij de gewone temperatuur bedraagt de nederdrukking bijkans de helft van de hoogte des barometers *b*, en hieruit volgt, dat de aetherdamp onder deze omstandigheden eene spankracht bezit, welke bijkans gelijk staat met de drukking van eenen halven atmospheer.

Maximum van de spankracht der dampen. Het streven der dam- 82
pen, om zich uit te zetten, gaat, even als bij de gazen, tot in het oneindige voort, d. i. de kleinste hoeveelheid damp breidt zich in de luchtledige ruimte, hoe groot deze ook zijn moge, naar alle zijden uit, [illegible] oefent op de wanden dier ruimte altijd nog eene meer [illegible] der groote drukking uit. De kleinste hoeveelheid w[illegible] is derhalve in staat, om onder den vorm

van damp eene ruimte van eenige duizende kubieke ellen even zoo te vervullen, als de lucht. Doch ofschoon de dampen een tot in het oneindige voortgaand uitzettingsvermogen bezitten, kan men toch hunne spankracht niet door vermeerderde drukking naar willekeur vergrooten, zoo als dit bij de gazen het geval is. Al wordt eene hoeveelheid lucht ook nog zoo sterk zamengeperst, altijd zal, volgens de wet van MARIOTTE hare veerkracht toenemen in dezelfde mate, als haar volumen verminderd wordt. Indien men beproeft, om dampen zamen te persen, ten einde daardoor hunne veerkracht te vergrooten, dan komt men al spoedig tot een punt, waarop de damp zich *verdigt*, en tot den druipend vloeibaren toestand terugkeert. Deze *grenzen van den weêrstand*, bij welke iedere verdere zamenpersing geene vermeerdering van de veerkracht van den damp te weeg brengt, maar hem tot den druipend vloeibaren staat brengt, noemt men het *maximum van spanning van den damp*.

Ten einde dit kenmerkende onderscheid tusschen gazen en dampen door eene proeve aan te toonen, bedient men zich het best van den reeds op bladz. 94 beschrevenen toestel, doch men brengt nu geene lucht in den toestel, maar een weinig aether. Tot dit doel vult men de Torricellische buis zeer zorgvuldig met kwikzilver, zoodat al de lucht zooveel mogelijk verwijderd is, hetgeen men het volledigst kan verkrijgen door uitkoking. Wanneer de buis op deze wijze tot op 1 — 2 duim na met kwikzilver gevuld is, dan giet men deze ruimte vol met aether, keert de buis om, en dompelt haar in het vat *cn*. De aether rijst spoedig omhoog, een gedeelte blijft vloeibaar, een ander gedeelte verdampt in de luchtledige ruimte, en brengt eene aanmerkelijke nederdrukking van de kwikzilverkolom te weeg. De zuil *ns* zal b. v. nog slechts eene hoogte hebben van 400mm, terwijl zij anders 760mm hoog zijn zoude, indien het luchtledig boven de kwikkolom volkomen geweest is, dan is de spankracht van den aetherdamp = 360mm. Wordt nu de Torricellische buis dieper in de met kwikzilver gevulde buis *cc'* gedrukt, ten einde op die wijze de door den aetherdamp ingenomen ruimte te verkleinen dan zal men opmerken, dat de hoogte van de kwikkolom *ns* geheel onveranderd blijft. Zoo er, in de plaats van aetherdamp, lucht in het bovenste gedeelte der buis geweest ware, dan weten wij, dat, wanneer door het nederdrukken der buis het volumen der afgesloten lucht verminderd wordt, hare veerkracht tevens vermeerdert, zoodat de hoogte des kwikzilvers in de barometerbuis afneemt (bladz. 94.). Hier, bij den damp, is de zaak geheel anders; het volumen van den aetherdamp wordt

Fig. 476.



verminderd, zonder dat zijne veerkracht toeneemt, want de hoogte der zuil *ns* blijft dezelfde. Doch hoe meer men de buis naar beneden drukt, des te meer neemt de hoeveelheid van den druipend vloeibaren aether toe, en de verkleining der met de aetherdampen gevulde ruimte brengt dus te weeg, dat een gedeelte der dampen weder tot druipend vloeibaren aether wordt gecondenseerd, terwijl de overig blijvende dampen geene verandering van spankracht ondergaan. Wanneer men derhalve de met achterdamp gevulde ruimte tot $^1/_2$, $^1/_3$, $^1/_4$ enz. zamenperst, dan wordt ook $^1/_2$, $^1/_3$, $^1/_4$ enz. van den damp gecondenseerd. Indien men voortgaat met het nederdrukken van de buis, dan komt men spoedig op een punt, dat al de damp verdigt is, zoodat er nog enkel druipend vloeibare aether boven de kwikzilverkolom aanwezig is. Dit volkomen verdwijnen van den damp kan men echter moeijelijk bewerken, omdat de aether altijd een weinig lucht heeft opgelost.

Zoo men de buis weder omhoog trekt, dan blijft de kwikzilverkolom nog altijd dezelfde hoogte *ns* behouden, terwijl de laag van druipend vloeibaren aether gestadig vermindert, hetgeen bewijst, dat er onmiddellijk weder damp gevormd wordt, om de vergroote ruimte te vullen, en in haar het maximum der spankracht te bereiken.

Indien men echter slechts weinig aether in de buis brengt, en haar hoog genoeg optrekt, zoodat al de druipend vloeibare aether volkomen verdwijnt, dan zal, bij het verdere optrekken der buis, ook de kwikkolom om hoog rijzen; de aetherdamp is dan derhalve niet meer op het maximum van zijne spankracht, maar verhoudt zich bij verdere vergrooting van zijn volumen even als een gas.

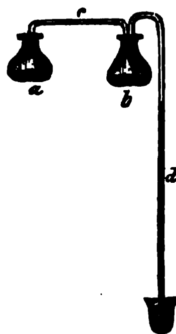
Evenwigt van de spankracht in eene ongelijkmatig verwarmde ruimte. 83

Men kan zich gemakkelijk overtuigen van den belangrijken invloed, dien de temperatuur uitoefent op het maximum van spanning der dampen, want zoo men de boven vermelde proeven bij verschillende temperaturen in het werk stelt, zal de nederdrukking der kwikzilverkolom ook zeer verschillend zijn. Bij 0° krijgt men b. v. met aether slechts eene nederdrukking van 180mm, terwijl zij bij 30 graden 630mm bedraagt. Ook vinden wij voldoende bewijzen voor deze waarheid in verschijnselen, die zich dagelijks aan ons aanbieden. De waterdamp toch, die aan de oppervlakte van stroomen en zeeën wordt gevormd, heeft slechts eene geringe spankracht; en wanneer het water kookt, is de spankracht der dampen zoo groot, dat zij evenwigt kan maken met de drukking van den dampkring, en bij nog hoogere temperaturen neemt deze spanning in zoodanige mate toe, dat zij de vreesselijkste ontploffingen van stoomketels kan te weeg brengen. Men kan dus de vraag opperen, wat het maximum der spankracht zij van dampen, in eene ruimte, welke op verschillende plaatsen ongelijk verwarmd is. Volgens de voorwaarden van het evenwigt van gasvormige ligchamen, moet de damp op alle plaatsen van deze ruimte

eene gelijke spanning bezitten, en daar op de koudere plaatsen de spankracht van den damp niet zoo groot kan zijn als aan de warme plaatsen, is het duidelijk, dat in de geheele ruimte de spanning der dampen zoo groot moet zijn als aan de koudste plaats, en dat dus de damp op de warmere plaatsen niet het maximum van de spankracht kan bereiken, dat aan deze hoogere temperatuur beantwoordt.

Deze stelling wordt duidelijk uit den in fig. 477 afgebeelden toestel. Twee glazen kolfjes *a* en *b*, die beide een weinig aether bevatten, zijn met elkander verbonden door eene buis *c*; door den kurk, waarmede *b* gesloten wordt, gaat eene tweede naar beneden gebogen buis *d*. Zoo men nu den aether in *a* en *b* tot koking brengt (het best kan dit geschieden, door ze in kokend water te dompelen), dan ontwijken de dampen door de buis *d*, en voeren de lucht uit den toestel mede. Nu dompelt men het onderste einde der buis *d* in een vat met kwikzilver, en neemt de warmtebronnen weg, door middel van welke de aether aan het koken gebragt was. Al spoedig zullen nu *a* en *b* tot de temperatuur der omringende lucht verkoeld zijn, de spankracht der dampen in den toestel neemt daarbij tot op eenen bepaalden graad af, en het kwikzilver rijst dus in de buis *d* tot op eene bepaalde hoogte, welke afhankelijk is van de temperatuur der omringende lucht. Zoo men nu den eenen kolf in sneeuw of in een koudmakend mengsel dompelt, dan rijst het kwikzilver dadelijk even zoo hoog, alsof beide kolven op die wijze waren verkoeld.

Fig. 477.



84 **Meting van de spankracht der waterdampen.** Ter bepaling van de spankracht van den waterdamp, kan men onderscheidene toestellen bezigen, naar gelang men haar wil bepalen voor eene temperatuur tusschen 0° en 100°, of boven 100°.

Tusschen 0° en 100° bezigt men den in fig. 478 afgebeelden toestel. Deze bestaat uit twee barometerbuizen, die naast elkander in hetzelfde vat zijn gedompeld; de eerste van deze buizen stelt een volkomenen barometer daar, en in den tweeden is boven het kwikzilver een weinig water, hetwelk voor een gedeelte in de luchtledige ruimte verdampt. Deze beide buizen worden, van onder aan eenen ijzeren staaf bevestigd, in een genoegzaam diep glas met water gebragt. Dit vat is geheel gevuld met water, hetwelk men naar willekeur tot op iedere temperatuur tusschen 0° en 100° kan verwarmen. De temperatuur van dit water, welke door doelmatig aangebragte thermometers wordt bepaald, is te gelijk de temperatuur van de beide barometers, en van den waterdamp in den eenen. Ten einde nu de veerkracht van den waterdamp bij elke temperatuur te kennen, behoeft men slechts te bepalen, in welke verhouding de nederdrukking staat in de met damp gevulde barometerbuis tot den stand van het kwikzilver in den volkomenen barometer.

Fig. 478.

Ter bepaling van de spankracht der dampen boven 100°, kan men op de navolgende wijze te werk gaan. Aan eene tamelijk lange glazen buis, fig. 479, is een wijder gedeelte aangesmolten, ongeveer op de wijze als de korte arm van eenen barometer; de langere buis zoowel als de kortere zijn van boven open. Zoo men er kwikzilver in giet, komt dit natuurlijk in beide buizen even hoog te staan. Nu wordt het te onderzoeken vocht in den wijderen arm boven kwikzilver gebragt, daarna gedurende eene poos lang gekookt, en toegesmolten, zoodra al de lucht er uitgedreven is. Wanneer men het vat brengt in een vocht, welks temperatuur hooger is dan het kookpunt van het ingesloten vocht, dan worden er dampen gevormd, die op het kwikzilver drukken, en het in den langeren arm doen rijzen. Het verschil tusschen het niveau van het kwikzilver in den langeren en korteren arm wijst aan, hoeveel de spankracht der dampen grooter is, dan de drukking van eene atmospheer. Ten einde de buis te vrijwaren van bersting, en om te gelijk de hoogte der omhoog gedrukte kwikkolom te kunnen bepalen, is de toestel bevestigd aan eenen verdeelden staaf. Zoo de buis lang genoeg is, kan men door middel van dezen toestel de spanning der waterdampen tot op 3 à 4 atmospheren meten.

Fig. 479.

Tot het meten van sterkere spankrachten, behoeft men slechts den langen arm toe te smelten, zoodanig dat hierin eene bepaalde hoeveelheid lucht is afgesloten. Indien de dampen in den korten arm het kwikzilver in den langen arm omhoog drijven, dan wordt de afgeslotene lucht zamen geperst, en men kan dan gemakkelijk, uit het verschil in hoogte der beide kwikkolommen, de spankracht van den damp berekenen.

De volgende tabellen geven het maximum der spankracht van waterdamp bij verschillende temperaturen:

GRADEN.	SPANKRACHT VAN DEN WATERDAMP IN MILLIMETERS.	DRUKKING OP 1 VIERKANTEN DUIM IN NED. PONDEN.
0	5	0,007
10	9	0,013
20	17	0,023
30	30	0,042
40	53	0,072
50	89	0,126
60	145	0,196
70	229	0,311
80	352	0,478
90	525	0,714
100	760	1,033

SPANKRACHT IN ATMOSPHEEREN.	AAN DEZE SPANKRACHT BEANTWOORDENDE TEMPERATUREN.	DRUKKING OP 1 VIERKANTEN DUIM IN NED. PONDEN.
1	100	1,03
2	121	2,07
4	145	4,83
6	160	6,20
8	172	8,26
10	182	10,33
15	200	15,49
20	215	20,66
25	226	25,82
30	236	30,99

Uit deze tabellen ziet men, dat de spankracht van den waterdamp op het kookpunt, evenwigt maakt met de drukking van den dampkring. Dit is een algemeen doorgaande regel. De spankracht van den damp, welke uit eenige kokende vloeistof oprijst, is altijd gelijk aan de drukking van den dampkring op de oppervlakte dier vloeistof; want indien zij minder ware, dan zou de damp niet onder den vorm van blazen in het binnenste der vloeistof kunnen bestaan, en zoo de drukking sterker ware, dan zou de damp zich reeds vroeger hebben moeten vormen. Op het kookpunt hebben de dampen van alle vloeistoffen eene gelijke spankracht. DALTON meende, dat ook voor een gelijk aantal graden boven of onder het kookpunt de spankrachten altijd nog gelijk zouden zijn. Volgens de *wet van* DALTON behoefde men dus slechts de tafel van de spankracht van den verzadigden waterdamp te hebben, en het kookpunt van eenige vloeistof te kennen, om de spankracht van hare dampen bij iedere temperatuur te kunnen berekenen. Het kookpunt van alcohol b. v. is 78°; de spankracht van den damp van alcohol bij 113°, en dus 35° boven het kookpunt, zou gelijk moeten zijn aan de spankracht van waterdamp bij 135, welke 2280mm of 3 atmospheeren bedraagt. Volgens deze wet, ware de spankracht van den verzadigden alcohol-damp bij 0° gelijk aan 19mm, daar dit de spankracht is van den waterdamp bij eene temperatuur, welke 78° beneden het kookpunt van water is. De proeven van onderscheidene natuurkundigen hebben echter doen zien, dat deze wet niet naauwkeurig waar is.

De spankracht van den damp neemt, gelijk men ziet, betrekkelijk veel sneller toe dan de temperatuur; d. i. bij hoogere temperaturen brengt eene bepaalde verhooging van temperatuur eene veel grootere vermeerdering van de spankracht voort, dan bij lagere temperatuur. Want, terwijl bij eene temperatuurs verhooging van 100° tot 121°, derhalve van 21°, de spankracht van den waterdamp met 1 atmospheer toeneemt, zal zij bij eene

temperatuursverhooging van 226° tot 236°, derhalve bij eene temperatuursverhooging van slechts 10° reeds met 5 atmospheeren toenemen, en tusschen 226° en 236° is dus eene temperatuursverhooging van 2° reeds voldoende, om de spankracht van den waterdamp met 1 atmospheer te vermeerderen.

De vermeerdering der spankracht bij het klimmen van de temperatuur, heeft twee oorzaken. Stellen wij ons voor, dat eene afgeslotene ruimte gevuld zij met waterdamp van 100°, derhalve met eenen damp, wiens spankracht 1 atmospheer bedraagt; in deze ruimte zij in het geheel geen water meer voorhanden, en de toetreding van water zij volkomen afgesloten. Wanneer nu de temperatuur van deze ruimte tot 121° verhoogd wordt, dan tracht wel de in haar bevatte damp zich naar alle zijden uit te zetten, en daar deze uitzetting niet kan plaats grijpen, zal zijne spankracht toenemen, doch niet veel; de damp is nu niet meer verzadigd, en verhoudt zich geheel op de wijze van een gas. Zoo er echter nog water in deze ruimte aanwezig is, dan zal er zich, ten gevolge der verhooging van temperatuur, eene nieuwe hoeveelheid damp vormen. De vermeerdering der spankracht met 1 atmospheer komt derhalve voornamelijk daarvan, dat de damp digter wordt, en ten gevolge van zijne grootere digtheid eene grootere drukking uitoefent.

1 kubieke duim water levert:

1700 kubieke duimen verzadigden waterdamp van 100°
897 » » » » » 121°
207 » » » » » 182°

Er zijn vloeistoffen, voor welke het kookpunt beneden de gewone temperatuur van de lucht ligt. Zulke ligchamen kunnen natuurlijk onder gewone omstandigheden niet druipend vloeibaar zijn, en zijn bij de gewone temperatuur der lucht en onder de gewone drukking der lucht slechts gasvormig; men moet zulke gazen zamenpersen en verkoelen, om ze druipend vloeibaar te maken. Zoo kookt b.v. het zwaveligzuur bij — 10°; in eene toegesmolten glazen buis besloten, oefenen zijne dampen bij 25° reeds eene drukking uit, van ongeveer 5 atmospheeren.

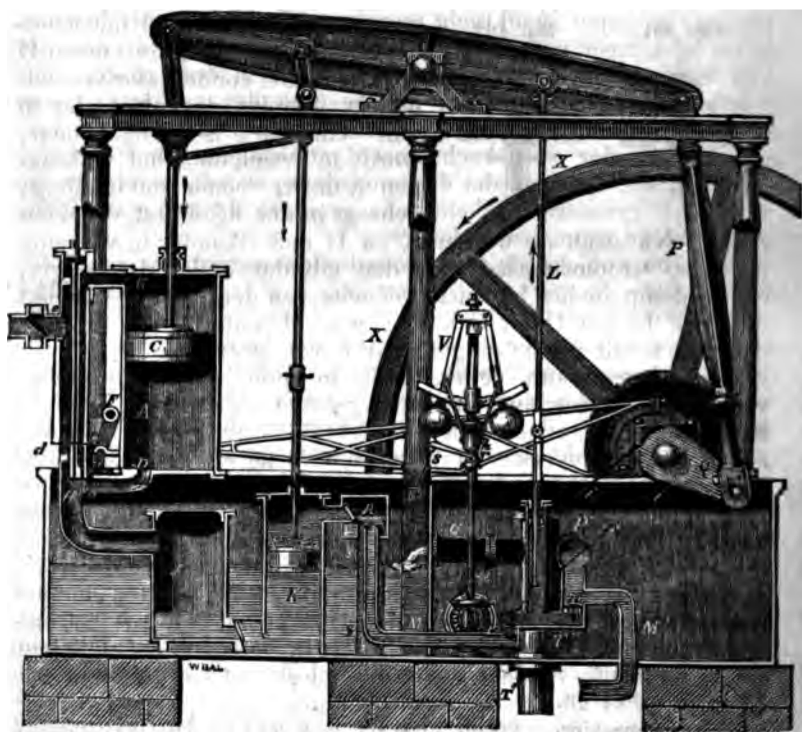
Cyangas, ammoniak, koolstofzuur enz. kunnen eveneens door zamenpersing en verkoeling tot vloeistoffen worden verdigt. De damp van het druipend vloeibare koolstofzuur heeft bij 0° reeds eene spankracht van 36, bij 30° eene spankracht van 73 atmospheeren.

De stoommachine. Gelijk men weet, wordt in den laatsten tijd 85
de waterdamp aangewend als bewegende kracht, en het is aan de invoering der stoommachines te danken, dat de industrie en het onderlinge verkeer der volken zulke buitengewone vorderingen hebben gemaakt. Zonder ons hier op te houden bij eene beschouwing der oudere machines, zullen wij ons onmiddellijk wenden tot de beschouwing der stoommachine van WATT.

De cilinder A. is zoowel van onder als van boven lucht-

digt gesloten, zoodat de dampkringslucht nergens eene drukking kan uitoefenen op den zuiger C. De damp, die uit den ketel door de buis Z aan de machine wordt toegevoerd, treedt bij afwisseling bij E. en bij D. in den cilinder. De wijze, waarop deze afwisseling wordt te weeg gebragt, zullen wij lager uitvoeriger nagaan. Bij dien stand der machine, als in onze figuur is afgebeeld, treedt de damp van boven bij E. in. De damp in het onderste gedeelte van den cilinder ontwijkt bij D. en komt door de buis H. in den condensator J. waar hij verdigt wordt. Van boven drukt dus de damp op den zuiger C, onder dezen is eene verdunde ruimte, en de zuiger is derhalve aan het dalen.

Fig. 480.



De verdigting der dampen in den cilinder aan de eene zijde van den zuiger grijpt daardoor plaats, dat de cilinder in verband staat met den reeds boven vermelden condensator. Dit is de door J. aangeduide ruimte, die of met het bovenste of met het onderste gedeelte van den cilinder in verbinding staat. In den condensator wordt bestendig koud water gespoten, en daardoor de verdigting der dampen bewerkt, en hierdoor wordt ook (volgens de door fig. 477, op bladz. 442 opgehelderde wet)

de spankracht der dampen verminderd in dat gedeelte van den cilinder, hetwelk juist met den condensator in verband staat; de dampen gaan dan uit den cilinder over in den condensator, om hier te worden verdigt.

Verschillende inrigtingen zijn er uitgevonden, om te bewerken, dat de damp afwisselend van boven en van onder in den cilinder treedt, terwijl de damp aan de andere zijde van den kolf naar den condensator ontwijkt. De eenvoudigste van deze inrigtingen is een kraan, die zoodanig doorboord is, als in fig, 481 is afgebeeld. De buis K. geleide naar den ketel, C. naar den condensator, O. naar het bovenste, U. naar het onderste gedeelte van den cilinder. Wanneer nu de kraan den in fig. 481 voorgestelden stand heeft, dan stroomt de damp uit den ketel in het bovenste gedeelte van den cilinder, terwijl diens onderste gedeelte door de buizen U en C met den condensator verbonden is. Zoodra de kolf onder in den cilinder is aangekomen, wordt de kraan, door het volbrengen van ¼ eener omdraaijing, gebragt in den fig. 482 afgebeelden stand. Nu staan de buizen K en U met elkander in verband, de damp stroomt derhalve in den cilinder onder den zuiger, en de damp in het bovenste gedeelte van den cilinder ontwijkt door de buizen O en C naar den condensator. Ten gevolge daarvan wordt nu de zuiger naar boven gedreven.

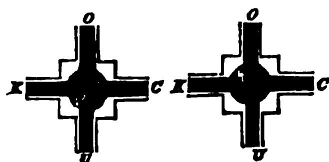


Fig. 481. Fig. 482.

Deze kraan kan echter niet in practische aanwending voor grootere machines worden gebragt, want men kan de kanalen in de kraan niet gemakkelijk wijd genoeg maken, zonder dat er tevens eene te sterke wrijving wordt veroorzaakt. Het meest is thans de stoomschuif in gebruik, die ook in onze machine (fig. 480) is aangebragt, en die in de nevenstaande figuren in zijne beide uiterste standen, vergroot, is afgebeeld. Door de buis Z komt de damp in een reservoir, de stoomkast, uit welken de buizen D en E naar den cilinder voeren. Dit reservoir is nu door de stoomschuif F in twee afgescheidene ruimten verdeeld. Het middelste gedeelte *m* van het reservoir is van het bovenste gedeelte *a'* en het onderste *a* geheel en al afgesloten, en de ruimten *a'* en *a* worden door de holte van de schuifkast zelve vereenigd. In de ruimte *m* stroomt nu steeds de damp uit den ketel, de ruimten *a'* en *a* staan voortdurend in verbinding met den condensator. Heeft nu de stoomschuif den in fig. 483 voorgestelden stand, dan stroomt de damp uit *m* door de buis E boven in den cilinder; door de buis D daarentegen komt de damp uit het onderste gedeelte van den cilinder naar *a*, en van daar naar den condensator. Wanneer echter de stoomschuif in den bij fig. 484 afgebeelden stand is, dan stroomt de damp uit *m* door D van

onder in den cilinder, terwijl de damp boven den zuiger door E naar *a'* gaat, en van daar door de stoomkast heen naar *a*, om ten laatste in den condensator te komen.

Om een juist denkbeeld te geven van de stoomkast, is zij in fig. 485 afgebeeld in de rigting van Z gezien. De wijze, hoe de stoomschuif door de machine zelve op en neder gevoerd wordt, zal beneden verder worden beschouwd.

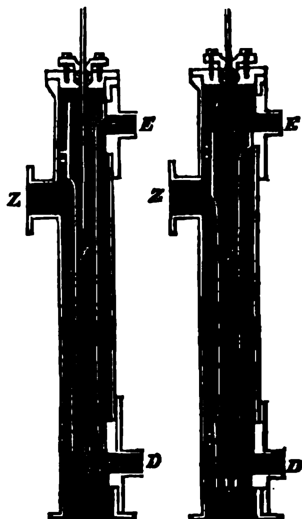


Fig. 483. Fig. 484.

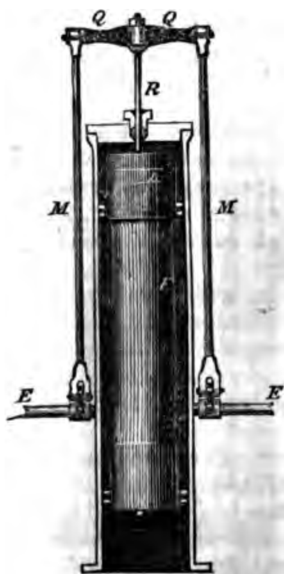
De condensator J fig. 480 staat in eenen vergaderbak, die voor een gedeelte met koud water is gevuld, hetwelk door eene opening, die in onze figuur niet zigtbaar is, gestadig in den condensator stroomt. De hoeveelheid van dit instroomende water kan door middel van eene kraan naar omstandigheden vermeerderd of verminderd worden. Door middel van de pomp Q wordt het water uit den condensator verwijderd. Gelijk men weet, is er in het water altijd meer of minder lucht bevat, die in den stoomketel vrij wordt, en gezamentlijk met de waterdampen door de machine naar den condensator gaat.

Eveneens wordt er lucht vrij uit het koude water, hetwelk in den condensator stroomt. De waterdampen worden hier verdigt, terwijl de lucht in gasvormigen toestand blijft. Deze lucht zou zich langzamerhand in den condensator ophoopen, en op die wijze het voortbrengen van een luchtledig aan de eene zijde van den zuiger onmogelijk maken, zoo zij niet eveneens werd verwijderd door de pomp *K*, die daarom ook wel de *luchtpomp* genoemd wordt.

Door de luchtpomp wordt het water uit den condensator in den vergaderbak R gebragt, waaruit het voor het grootste gedeelte door de buis S wegstroomt. De warmte, welke bij het verdampen van het water in den ketel werd gebonden, wordt bij de verdigting der dampen in den condensator weder vrij; door deze vrij wordende warmte wordt de temperatuur van het in den condensator ingestroomde water verhoogd, en het door de pomp K naar R gevoerde water is dus warm. Het is derhalve van groot voordeel, om dit warme water te bezigen ter vernieuwing van het water in den ketel, in plaats van koud water. Het daartoe noodige conter komt door de buis M naar eene pomp, in welke het de vt de buis M' naar den ketel wordt gevoerd. Deze pomp (volgen even als de luchtpomp, door de machine zelve in be-

weging gebragt. De pompstang L is namelijk aan de balans gehangen, en gaat omhoog, wanneer de zuiger C naar beneden daalt, en naar beneden daarentegen, als C omhoog rijst. Wanneer de aan den pompstok L bevestigde zuiger van de waterpomp omhoog gaat, opent zich de klep *V*, en bij het nederdalen van dien zuiger wordt de klep *n* geopend.

Fig. 485.



Aan de andere zijde van de balans is juist achter L eene andere pompstang aangebragt, door welke koud water in de buis T omhoog gevoerd wordt, hetwelk door U in den koudwaterbak komt, in welken de conden sator staat.

Laat ons nu zien, hoe de op- en ne- 86
dergaande beweging van den zuiger
C wordt voortgeplant.

De zuigerstang beweegt zich door de lucht- en dampdigte pakkingbos, die in het midden van den bovenwand van den cilinder is aangebragt; zij is door een stelsel van bewegelijke stangen, welke men het *parallellogram* noemt, verbonden met het eene einde van de balans. Dit paralellogram heeft niets anders ten doel, dan om aan de zuigerstang eene volkomen loodregte beweging mede te deelen, hetgeen onmogelijk zou zijn, indien de zuigerstang onmiddellijk aan het einde van de balans bevestigd was; want in dat geval zou zij bij afwisseling een weinig naar de linker en naar de regter zijde worden getrokken, en hierdoor zou de pakkingbos zooveel te lijden hebben, dat zij spoedig niet meer luchtdigt gesloten zou zijn.

Het eene einde van de balans wordt door de zuigerstang bij afwisseling op- en nedergetrokken, terwijl het andere einde steeds de tegenovergestelde beweging heeft, d. i. wanneer de zuiger C omhoog rijst, gaat het andere einde van de balans naar beneden, en omgekeerd. De op en neêrgaande beweging van de balans gaat door de verbindingsroede P en de kruk Q in eene gestadig rondgaande beweging over. De as van de kruk Q is de hoofdas van de machine, welke in beweging moet worden gebragt; om deze as draait ook het vliegwiel X.

De beweging van den zuiger C is zeer ongelijkmatig. Daar hij aan het bovenste en onderste gedeelte van den cilinder in rust komt, en dan zijne beweging omkeert, is het gemakkelijk te begrijpen, dat hij dien weg niet met eene gelijkmatige snelheid kan afleggen. Zijne snelheid is het grootst, wanneer hij juist in het midden van den cilinder is, en neemt des

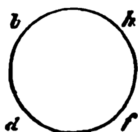
te meer af, hoe meer hij tot het einde van den cilinder nadert. Beschouwen wij nu de beweging van de kruk, dan zien wij, dat bij eene gelijkmatige snelheid van omdraaijing, de beweging in eene loodregte rigting toch nog zeer veranderlijk is. De kruk staat horizontaal, wanneer de zuiger C in het midden van den cilinder is, op dit oogenblik heeft de beweging der kruk eene loodregte rigting; maar wanneer de zuiger C in zijnen hoogsten of laagsten stand is, dan beweegt de kruk zich in eene horizontale rigting. Het loodregte aandeel der beweging van de kruk valt geheel te zamen met de beweging van den zuiger; in die mate, in welke de beweging van de kruk meer horizontaal wordt, neemt de snelheid van den zuiger af, zonder dat daardoor eene vermindering volgt in de snelheid van omdraaijing der kruk.

De diameter van de baan der kruk is, gelijk zich begrijpen laat, wanneer men de hoogte van den cilinder en de dikte van den zuiger afrekent, gelijk aan de hoogte van den cilinder, ten minste indien de beide armen van de balans eene gelijke lengte hebben; de lengte van den arm der kruk is dus gelijk aan de halve hoogte van den zuiger.

Het vliegwiel X dient, om de beweging der machine gelijkmatig te houden. Al ware ook de drukking van den damp op den zuiger geheel onveranderlijk, dan zou hij toch bij elken stand der kruk niet evenveel kunnen bijdragen tot hare omdraaijing. Inderdaad kan men de drukking, welke door de verbindingsroede P op de kruk werkt, zich herleid denken in twee krachten, die regthoekig op elkander werken: de eene in de rigting van de kruk zelve, als drukking op de as werkende, draagt niets bij tot de omdraaijing; deze wordt geheel alleen voortgebragt door de andere, in tangentiale rigting, op de kringsgewijze baan van de kruk werkende. De grootte dezer beide krachten verandert echter met ieder oogenblik. Wanneer de arm van de kruk loodregt staat, werkt iedere drukking, die van den zuiger uitgaat, enkel en alleen als drukking op de as van de kruk. Zoo de machine in dezen stand stil bleef staan, dan zou de sterkste drukking op den zuiger haar niet in beweging kunnen brengen. Dat de machine dus, in dezen stand gekomen, niet stil blijft staan, komt enkel en alleen daarvan, dat ieder gedeelte der machine, ten gevolge van hare traagheid, in de beweging blijft volharden, even zoo als een slinger, op de plaats van den evenwigtsstand aangekomen, in zijne beweging voortgaat. Wanneer de kruk eenmaal den horizontalen stand door is, dan zal dat gedeelte van de door P voortgeplante drukking, hetwelk de omdraaijing der kruk bewerkt, grooter en grooter worden, en zal zijn maximum bereiken, als de arm van de kruk horizontaal staat. De kracht, door welke de kruk wordt omgedraaid, wordt derhalve bestendig veranderd, in den loop van eene geheele ronddraaijing wordt zij tweemaal gelijk nul, namelijk wanneer de arm van de kruk

zijnen hoogsten en zijnen laagsten stand inneemt, en tweemaal bereikt zij een maximum. Zoo men nu de beweging nagaat, welke door eene zoo afwisselende kracht wordt voortgebragt, ziet men ligtelijk in, dat het slechts eene afwisselend versnelde en vertraagde beweging kan wezen. Door den cirkel in fig. 486 zij de baan van de kruk voorgesteld, dan ziet men, dat er bij de beweging van *b* naar *d* eene versnelling volgt, omdat hier de bewegende kracht met hare grootste energie werkzaam is. De als het ware in de deelen der machine opgehoopte beweging moet echter afnemen, onderwijl de arm van de kruk van *d* naar *f* wordt bewogen, terwijl intusschen de bewegende kracht zeer klein, ja zelfs volkomen nul wordt, en de hinderpalen ter vertraging eene verlangzaming te weeg brengen. Op den weg van *f* tot *h* volgt eene nieuwe versnelling, en van *h* tot *b* eene nieuwe vertraging.

Fig. 486.



Deze afwisselingen in de bewegingen der kruk liggen in den aard der zaak, en kunnen niet absoluut worden vermeden. De verschillen tusschen de grootste en kleinste snelheden zullen echter des te geringer worden, naarmate de in beweging verkeerende trage massa grooter is. Door middel van een genoegzaam groot vliegwiel, kan men deze verschillen in de snelheid van ronddraaijing zoo klein maken, dat zij geenen nadeeligen invloed meer hebben. De kracht, welke van *b* tot *d* en van *f* tot *h* sterker werkt, kan geene aanmerkelijke vermeerdering van de snelheid bewerken, omdat zij eene zeer aanmerkelijke trage massa moet bewegen; en daar er in het vliegrad eene aanmerkelijke hoeveelheid van beweging als het ware is opgehoopt, is de vermindering der beweging terwijl de kruk van *d* naar *f* of van *b* naar *h* gaat, niet groot genoeg, om eene merkbare vermindering in de snelheid te weeg te brengen. Op deze wijze wordt door het vliegwiel de ongelijkmatigheid van de beweging vereffend, welke door de inrigting der machine wordt te weeg gebragt. De arbeid, welke door eene machine moet worden verrigt, stelt nooit eenen absoluut gelijkmatigen wederstand aan de bewegende kracht tegenover, en ook hieruit zoude ongelijkmatigheid in den gang der machine ontstaan, zoo het niet eveneens door de machine werd vereffend.

Indien de arbeid, welke verrigt moet worden, in het algemeen de weêrstand, af- of toeneemt, dan is het gevolg daarvan, dat de gang der machine langzamer of sneller wordt. Voorbijgaande, kort aanhoudende stoornissen van dien aard worden reeds door het vliegwiel vereffend; doch eene algemeene vermindering van den weêrstand en van den last zou reeds bij eenen onveranderden toevoer van den damp eene gestadig toenemende versnelling van den gang der machine ten gevolge hebben. Ten einde nu te zorgen, dat de snelheid

niet eenen zekeren grens kan te boven gaan, moet er in de stoombuis eene klep zijn aangebragt, door wier omdraaijing de toevoer van den damp in meerdere of mindere mate wordt afgesloten, naarmate de klep meer en meer uit den horizontalen stand (de volkomene opening) in den loodregten stand (volkomene sluiting) overgaat. De ronddraaijing van deze klep nu wordt door de machine zelve te weeg gebragt, en dit geschiedt door middel van eenen toestel, waaraan men den naam geeft van *regulateur*.

Om de as van het vliegwiel en over eene loodregt geplaatste

Fig. 487.

katrol *a*, fig. 487, is een tamelijk strak koord *i* geslagen, zoodat bij de ronddraaijing van de hoofdas ook de schijf *o* ronddraait. Aan de as van de schijf *o* is een loodregt geplaatst conisch rad bevestigd, welks tanden in die van een dergelijk horizontaal rad grijpen, zoodat dit horizontale rad om zijne verticale as kan draaijen. Op deze loodregte as staat eene stang, die aan haar bovenste einde den kegelvormigen slinger V draagt.

Deze conische slinger V bestaat uit twee zware kogels, die aan het boveneinde der loodregte stang zoodanig bevestigd zijn, dat zij bij snelle ronddraaijing der stang, ten gevolge van

hunne middelpuntvliedende kracht van elkander wijken. De stangen, aan welke de beide kogels hangen, zijn door twee staven verbonden met de bos *h*, die den loodregten staaf omgeeft. Door het omhoog rijzen van deze bos wordt de hefboom *rsa* om de as *s* gedraaid, en de stang *ab* naar de regterzijde getrokken: hierdoor wordt de hefboom *bcd* om de as *c* gedraaid, waardoor ten laatste de stang *ed* naar beneden wordt getrokken. Nu is *e* het eindpunt van eenen hefboomsarm, wiens as, om welken hij draait, juist valt in de as, om welke de klep in de buis *z* bewegelijk is; en door het neêrtrekken van het punt *e* kan dus de klep worden gesloten. Dit geheele stelsel van hefboomen is in onze figuur enkel door lijnen aangeduid, dewijl het eigenlijk aan de voorzijde der machine is gelegen, en dus in onze figuur, in welke eene doorsnede der machine is voorgesteld, niet zigtbaar kon zijn.

De draaijing van de kraan of het op- en neêr- 87
trekken van de stoomschuif, kortom, de beweging van die

Fig. 488.

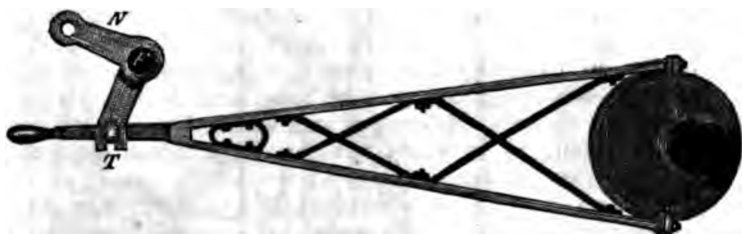
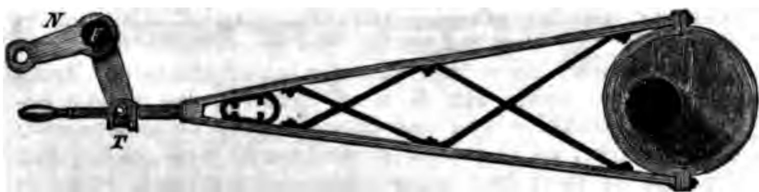


Fig. 489.



toestellen, door welke de damp bij afwisseling in het bovenste of in het onderste gedeelte van den cilinder wordt gevoerd, moet door de machine zelve worden verrigt.

Het belangrijkste uitwendige gedeelte tot dit besturen is de *excentrische schijf*, die in fig. 487 door *y* is aangeduid. Dit is eene cirkelronde schijf, die aan de as van het vliegwiel is bevestigd, maar wier middelpunt niet zamenvalt met het middelpunt van ronddraaijing, gelijk men duidelijk kan zien in fig. 488. Bij elke ronddraaijing van de as beschrijft het middelpunt van de excentrische schijf eenen cirkel. Rondom de schijf ligt een ring, die aan twee tegenover elkander staande zijden overgaat in twee stangen, wier vereenigd uiteinde bij T rust op eenen

hefboomsarm, welke om eene vaste as F kan worden ronddgedraaid. De afstand tusschen het middelpunt der excentrische schijf en T is onveranderlijk, en dus moet, bij eene geheele ronddraaijing der hoofdas van de machine, de hefboomsarm FT uit den in fig. 488 afgebeelden stand in den bij fig. 489 afgebeelden overgaan, en weêr tot den eersten stand terugkeeren. De koorde van den boog, welken het punt T op die wijze beschrijft, is natuurlijk gelijk aan den diameter van den cirkel, die door de excentrische schijf wordt beschreven.

De as F gaat door de geheele breedte der machine heen, zooals men duidelijker ziet uit fig. 485 (blz. 449), waar de as in hare geheele lengte is afgebeeld. Aan deze as zijn twee volkomen gelijke en evenwijdige hefboomsarmen N bevestigd, die ter weêrszijde van de stoomkast, in welke de stoomschuif is bevat, zijn aangebragt. In fig. 488 ziet men eenen dier hefboomsarmen in zijne ware gedaante afgebeeld, in fig. 485 ziet men ze beide verkort. Aan elken van deze beide hefboomsarmen is eene loodregt naar boven gerigte stang M bevestigd, en van boven zijn deze beide door eene horizontale dwarsstang verbonden. Aan het midden van deze dwarsstang is de stang R met de daaraan hangende stoomschuif bevestigd. Deze stang gaat lucht- en dampdigt door eene pakkingbos in de stoomkast over. De beweging van den hefboomsarm N brengt door middel van de stangen M eene afwisselende rijzing en daling van de dwarsstang Q te weeg, ten gevolge waarvan dan ook de stoomschuif op en neder bewogen wordt.

88 Laat ons nu zien, welken invloed het weglaten van den condensator zou hebben. Wanneer er aan de eene zijde van den zuiger damp werkt met eene spankracht van een atmospheer, en het gedeelte van den cilinder, dat aan de andere zijde van den zuiger is, niet in verband staat met den condensator, maar met de vrije lucht, dan is de drukking van den damp aan de eene zijde van den zuiger gelijk aan de drukking van den dampkring op de andere zijde van den zuiger, en er is dus geene beweging mogelijk. Ten einde deze te weeg te brengen, moet de spankracht van den damp verhoogd worden. Gesteld, dat deze gelijk is aan de drukking van twee atmospheren, dan zal het uitwerksel even zoo zijn, alsof er aan de eene zijde van den zuiger eene luchtledige ruimte ware, en er aan de andere zijde damp met de spankracht van eenen atmospheer drukte; en dus gaat hierbij de helft der kracht van den damp verloren tot het overwinnen van den weêrstand der lucht. Zoo de damp eene spankracht bezat van drie, vier, vijf enz. atmospheren, dan zou er zonder den condensator $^1/_3$ $^1/_4$ $^1/_5$ enz. der kracht van den damp verloren gaan, om den weêrstand van de lucht te overwinnen. Hoe grooter derhalve de spankracht is van den damp, die in de machine werkt, des te kleiner is het gedeelte, hetwelk de stoomkracht verliest tot het overwinnen van den weêr-

stand der lucht. Indien dus de stoom, door welken de machine moet worden bewogen, slechts eene spankracht van eenen atmospheer of iets meer heeft, dan is de condensator volstrekt onmisbaar; maar indien de spankracht van den stoom grooter is, dan kan de machine ook zonder condensator werken, en wel is het voordeel, hetwelk de condensator aanbrengt, des te geringer, hoe grooter de spankracht van den stoom is. Een gedeelte van de stoomkracht gaat bovendien verloren tot het overwinnen van den weêrstand, bij de beweging der luchtpomp. Bij eene zekere mate van de drukking van den stoom wordt dus het voordeel, hetwelk de condensator aanbrengt, weder weggenomen door den weêrstand in de luchtpomp; en in dit geval is het dus geheel onverschillig, of men eenen condensator bezigt, of niet. Bij de machines, die door damp van sterkere spanning bewogen worden, zou de condensator derhalve meer nadeel aanbrengen dan voordeel, en men laat hem daarom in dit geval weg.

Gewoonlijk noemt men stoommachines, bij welke een condensator is aangebragt, *stoomwerktuigen van lage drukking*, terwijl die, bij welke de condensator ontbreekt, *stoomwerktuigen van hooge drukking* worden genoemd.

Door het ontbreken van den condensator en der luchtpomp zijn de werktuigen van hooge drukking veel eenvoudiger dan die van lage drukking, en ter voortbrenging van hetzelfde uitwerksel, zijn de afmetingen der eerste altijd kleiner dan die van de laatste werktuigen. Immers het resultaat der drukking van stoom met eene spankracht van 4 atmospheren op 1 vierkanten voet, is even zoo groot, als het resultaat der drukking van stoom met 1 atmospheer spankracht op 4 vierkante voeten. Om deze reden bezigt men de stoomwerktuigen van hooge drukking overal, waar men een werktuig van groote kracht in eene kleine ruimte wil brengen.

Een der meest bekende en belangrijkste werktuigen van hooge drukking, is de locomotief, die op onze spoorwegen in gebruik is. Een zoodanige locomotief is afgebeeld in fig. 490. A is de vuurhaard. De brandstof wordt door eene opening *a*, die door eene deur kan worden gesloten, op den rooster geworpen. Van uit den vuurhaard A kan de verwarmde lucht nergens heen, dan door eene menigte van horizontale buizen, die in rijen naast elkander liggen, en van A naar D voeren; van uit D gaat de verwarmde lucht met den rook door den schoorsteen weg. In fig. 491 ziet men de buizen naast en boven elkander liggen. Deze buizen gaan nu midden door eene met water gevulde ruimte, en bovendien is de vuurhaard zelf aan alle zijden met water omgeven. Door de buitengemeen groote verwarmde oppervlakte, waarmede het water op deze wijze in aanraking komt, wordt er op ieder oogenblik eene aanmerkelijke hoeveelheid damp gevormd. Deze dampen verzamelen zich boven het water in de door B en C aange-

Fig. 490.

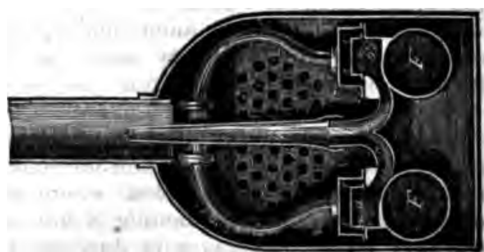


Fig. 491.

duide ruimte; van uit C worden ze door de buis c naar den cilinder gevoerd. Indien de opening der buis *c* laag geplaatst ware, dan zou er door het hevige koken veel water in de buis *c* en van daar in den cilinder gevoerd worden. Ten einde dit te voorkomen, is de ruimte bij *c* hooger gemaakt. De buis *c* verdeelt zich al spoedig in twee andere, namelijk in *d* en *d'*, gelijk men in fig. 491 ziet. In fig. 490 is slechts eene van deze buizen, namelijk *d* zigtbaar. Elk van deze geleidt naar eenen vergaderbak *i*, uit welken de damp in den cilinder F treedt. Aan iedere zijde van den wagen ligt een cilinder, zooals men in fig. 491 ziet; van deze cilinders is in fig. 490 slechts een, namelijk de voorste, zigtbaar. Hij is hier in zijne overlangsche doorsnede voorgesteld, ofschoon eigenlijk de doorsnede van den cilinder niet met die van het overige der figuur zamenvalt, maar vóór haar ligt. De cilinders zijn horizontaal gelegen, en de zuigers gaan met de zuigerstangen in eene horizontale rigting heen en weder. Van uit den vergaderbak *i*, in welken de stoom door de buizen *d* en *d'* geleid wordt, voeren twee buizen naar de beide einden. Aan den bodem van den vergaderbak *i* gaat eene schuif heen en weêr, wier middelste gedeelte wordt daargesteld door de kast *o*, die naar beneden open is. In den stand, die in fig. 490 is voorgesteld, zijn de beide buizen door deze schijf gesloten. Stellen wij ons voor, dat ze zoo verre naar de linkerzijde geschoven is, dat de buis aan de linkerzijde niet meer gesloten is, maar zich in de holte *o* kan ontlasten, dan zou de buis aan de regterzijde in gemeenschap staan met den stoomhouder *i*, en dus zou er dan bij dezen stand van de schuif, aan de regter zijde stoom in den cilinder kunnen treden. Hierdoor zou derhalve de zuiger naar de linkerzijde worden gedreven, terwijl de stoom aan de linkerzijde van den zuiger, door de buis aan de linkerzijde, in de kast *o* treedt, en van daar door de buizen *p* en *q* in den schoorsteen komt. Indien daarentegen de schuif zooveel mogelijk naar de regterzijde bewogen is, dan stroomt de stoom van uit *i* door de buis aan de linkerzijde in den cilinder, en ontwijkt aan den anderen kant door de buis aan de regterzijde in de kast.

De zuigerstang wordt vastgehouden door de zoogenaamde coulissen, die elke afwijking van hare baan verhinderen, zoodat zij slechts in de rigting van eene en dezelfde regte lijn heen en weder kan gaan. Aan de zuigerstang is onmiddellijk de verbindingsroede bevestigd, door welke de kruk *n* om hare as *m* in het rond bewogen wordt. Aan de as *m* zijn verder ook de middelste wielen van den wagen bevestigd, zoodat dus door elke beweging van den zuiger heen en terug, de wagen een zoodanig eind wegs verder gevoerd wordt, als aan den omtrek der middelste wielen beantwoordt.

Aan de as *m* is ook de excentrische schijf bevestigd, door welke de schuif in den stoomhouder *i* in beweging wordt ge-

bragt. Gelijk wij in onze figuur zien, grijpt het ongeveer X-vormige einde der stang, die aan den ring van het excentriek bevestigd is, aan het bovenste einde van eenen hefboom, wiens steunpunt bij *s* is. Door de beweging van dezen hefboom worden ook de daaraan bevestigde stangen *t*, en door deze de schuif heen en weder bewogen.

Door het optrekken van den hefboom N wordt de X naar beneden gedrukt, en hierdoor wordt eene teruggaande beweging van het locomotief voortgebragt. Wij kunnen hier echter niet in verdere bijzonderheden treden. H en L zijn veiligheidskleppen, *l* is een fluitje, hetwelk dient tot het geven van seinen.

89 Het uitwerksel, hetwelk door eene stoommachine kan worden voortgebragt, de kracht der machine, is afhankelijk van de hoeveelheid waters, die in eenen bepaalden tijd in den ketel in damp overgaat. Laat ons derhalve nagaan, welke werking er kan worden voortgebragt door een pond water in den vorm van damp. Stellen wij, dat de oppervlakte van den zuiger 1 vierkante duim bedraagt, terwijl de hoogte van den cilinder 10 palm is, dan is de inhoud van den cilinder 10 kubieke palmen of 10 pond, en om dus den zuiger van beneden naar boven te drijven, moeten er 10 ponden stoom uit den ketel in den cilinder overgaan. Indien nu de damp eene spankracht bezit van eenen atmospheer, dan is de drukking, welke hij op elken vierkanten duim der oppervlakte van den zuiger uitoefent, ongeveer 1 ned. pond, en de gezamenlijke drukking op den geheelen zuiger bedraagt derhalve 100 ned. ponden. Indien er dus *in het geheel geene* belemmeringen van de beweging bestonden, zou men den zuiger kunnen beladen met 100 ponden, en deze 100 ponden zouden 10 palmen hoog worden opgevoerd, zoo men 10 pond waterdamp van 100 graden in den cilinder voert. Het uitwerksel derhalve, hetwelk 10 ponden waterdamp van 100° kunnen voortbrengen, is gelijk aan het opvoeren van 100 ponden tot eene hoogte van 10 palmen, of van 1000 ponden tot eene hoogte van 1 palm. Een pond water nu geeft 1700 pond waterdamp van 100°, en met 1 pond water, tot damp van 100° gebragt, kan men dus een uitwerksel voortbrengen, dat gelijk staat met het opvoeren van 17000 ponden tot eene hoogte van 1 palm.

Ten einde de kracht van het werktuig beter te kunnen beoordeelen, vergelijkt men haar gewoonlijk met *paardenkrachten*. Stelt men, dat een paard in 1 seconde eenen last van 750 ponden 1 palm hoog kan voeren (uit de beste waarnemingen omtrent den arbeid van paarden, blijkt inderdaad, dat zij, bij eene doelmatige aanwending hunner krachten, bij voortgezetten arbeid een uitwerksel voortbrengen, dat met de bovenstaande opgave overeenkomt) dan kan men zeggen, dat eene machine, in welke in elke seconde zooveel stoom wordt ontwikkeld, als noodig is, om 750 ponden tot de hoogte van 1 palm (of 500

pond ter hoogte van 1 voet) op te voeren, eene stoommachine is van ééne paardenkracht.

Nu kan echter de waterdamp, die uit 1 pond water ontwikkeld wordt, 17000 ponden ter hoogte van 1 palm opvoeren; en wanneer er dus in den ketel 1 pond water in $^{17000}/_{750}$, dus in 226 seconden verdampt wordt, dan is het eind-uitwerksel, hetwelk deze damp in de machine te weeg kan brengen, aan eene paardenkracht gelijk. Een zoodanig werktuig verteert derhalve in eene seconde ongeveer 15 pond water.

Evenwel kan niet al de mechanische kracht, die in de machine wordt voortgebragt, als beweegkracht in rekening worden gebragt. Er gaat zeer veel kracht verloren, omdat de zuiger niet tegen eene absoluut ledige ruimte drukt, omdat de wrijving van den zuiger moet worden overwonnen, omdat er veel pompen in beweging moeten worden gebragt, enz. Door al deze weêrstanden wordt het eind-uitwerksel van het werktuig bijna tot op de helft van het boven berekende verminderd.

In de werktuigen van hooge drukking heeft men veel gewonnen door de aanwending der expansie van den stoom in den cilinder. Deze expansie wordt daardoor bewerkt, dat de toevoer van den stoom wordt afgesloten, wanneer de zuiger nog slechts een gedeelte van zijnen weg, b. v. $^{1}/_{2}$, $^{2}/_{3}$ enz. heeft afgelegd. Dat er door de toepassing der wet van de expansie, bij een gelijk verbruik van stoom een grooter effect wordt voortgebragt, laat zich reeds uit de navolgende eenvoudige beschouwing opmaken.

Gesteld, dat er in eenen stoomcilinder gedurende den geheelen gang van den zuiger, zooals dit bij de gewone werktuigen het geval is, een damp stroomt, wiens spankracht wij op twee atmospheeren willen stellen, dan is, aan het einde van dien gang, de geheele cilinder gevuld met eenen damp van 2 atmospheeren spankracht, en bij dezen gang is een mechanisch effect voortgebragt, hetwelk wij door E willen aanduiden.

Laat men nu in dienzelfden cilinder damp instroomen van eene dubbele, dus van 4 atmospheeren spankracht, dan zou de drukking op den zuiger eens zoo groot zijn, en het mechanische effect E was reeds voortgebragt, wanneer de zuiger nog slechts de helft van zijnen loop heeft volbragt, en in het midden van den cilinder is gekomen. Wanneer nu op dit oogenblik de verdere toevoer van stoom in den cilinder wordt verhinderd, dan zal de zuiger de vorige helft van zijnen weg afleggen, terwijl de drukking, door welke hij bewogen wordt, langzamerhand tot op de helft vermindert, want als hij aan het einde van zijne baan komt, dan is de spankracht van den stoom nog slechts 2 atmospheeren.

Daar het mechanische effect E reeds bij de eerste helft van den gang des zuigers is voortgebragt, is het geheele uitwerksel hetwelk de stoom in de tweede helft van den gang des zuigers voortbrengt, terwijl hij zich dus zoodanig uitzet dat zijne

spankracht van 4 atmospheeren tot op 2 atmospheeren vermindert, als gewin te beschouwen; want de hoeveelheid stoom, welke aan het einde van den gang des zuigers den cilinder vult, is juist even zoo groot, alsof er gedurende den geheelen gang stoom van 2 atmospheren spankracht ingestroomd ware.

De afsluiting van den stoom wordt gewoonlijk bewerkt door eene bijzondere expansieschuif. Bij de gewone werktuigen stroomt de stoom uit den ketel direct in de kast, in welke de stoomschuif op en neder wordt bewogen, ten einde den stoom afwisselend aan de eene en aan de andere zijde van den zuiger te laten treden; wij zullen deze kast *a* noemen. Bij de expansiemachines is er echter doorgaans vóór deze kast nog eene tweede kast *b*; in den wand tusschen *b* en *a* is eene opening, door welke de stoom uit *b* in *a* kan treden; deze opening wordt van boven door eene tweede, in *b* aanwezige schuif, op het juiste oogenblik geopend en gesloten. De beweging van deze expansieschuif wordt meestal voortgebragt door eene behoorlijk geplaatste excentrische schijf, geheel op dezelfde wijze, waarop de beweging van de stoomschuif wordt voortgebragt.

90 Den overgang van druipend-vloeibare in gasvormige ligchamen, noemt men in het algemeen *verdampen*. De vochten kunnen *of* door het koken verdampen, wanneer er door de geheele massa van het vocht dampen worden gevormd, *of* door het eigenlijk gezegde verdampen, wanneer de vorming van dampen enkel aan de oppervlakte plaats heeft.

Als men ziet naar het koken van een vocht, dan neemt men doorgaans niets anders waar, dan eene meer of minder hevige beweging van alle deeltjes. Als men echter het vocht in een glazen vat laat koken, dan ziet men, dat er aan de warme wanden van het vat dampblazen worden gevormd, die omhoog rijzen. Aanvankelijk klein, nemen deze blazen in omvang toe, hoe meer zij omhoog rijzen. Aan de warmste plaatsen van den wand volgen de blazen het snelst op elkander. Tot het vormen van blazen in het vocht, dat toch van alle zijden eene drukking op haar uitoefent, moet de damp, welke de blazen vult, natuurlijk eene spankracht bezitten, die evenwigt maakt met de omringende drukking. De eerste voorwaarde van het koken is derhalve, dat de temperatuur hoog genoeg zij, zoodat de spankracht der dampen de drukking kan weërstaan, die van alle zijden op de ontstaande dampbellen wordt uitgeoefend. Eene tweede voorwaarde is, dat er genoeg warmte voorhanden zij, om bij de dampvorming als latente warmte te worden geabsorbeerd.

Uit de eerste voorwaarde volgt, dat het kookpunt van een vocht verandert, met de drukking onder welke het staat; terwijl uit de tweede voorwaarde volgt, dat de snelheid van het koken afhankelijk is van de hoeveelheid warmte, die in eenen bepaalden tijd aan de vloeistof wordt toegevoerd.

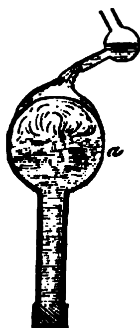
Aan de oppervlakte der zee en onder de gemiddelde drukking

van 760mm, kookt zuiver water bij 100°; op den top van den Mont-blanc, op eene hoogte van 4775 ellen, waar de drukking van den dampkring nog slechts 714mm bedraagt, kookt het water reeds bij eene temperatuur, bij welke de spankracht van den waterdamp 417mm bedraagt, d. i. ongeveer bij 84°. Op eene nog grootere hoogte, zou het water bij nog lager temperatuur koken. Met behulp van de tafel voor de spankracht der dampen van eenig vocht, kan men gemakkelijk de temperatuur van het kookpunt bij eene bepaalde drukking vinden, want het is die graad van temperatuur, bij welken de spankracht van den verzadigden damp aan die drukking gelijk is. Omgekeerd, kan men eene vloeistof bij eene bepaalde temperatuur tot koken brengen, als slechts de drukking genoeg verminderd is.

Bij eene drukking van 30mm b. v. is het kookpunt van het water 30°, omdat bij deze temperatuur de spankracht van den verzadigden waterdamp 30mm bedraagt. Onder eene drukking van 10mm kookt het water bij 11°, onder eene drukking van 5mm bij 0°.

De waarheid van deze gevolgtrekkingen kan gemakkelijk door eene proef worden bewezen. Men brenge daartoe warm water in een glazen vat, onder den recipient der luchtpomp. Na eenige pompslagen reeds, begint het water even zoo sterk te koken, alsof het in de vrije lucht boven een levendig vuur stond. Dit koken houdt echter spoedig op, omdat de recipient gevuld wordt met den damp, die zelf op de vloeistof drukt; maar door eenen nieuwen pompslag kan men dezen damp verwijderen, en het koken weder op nieuw doen beginnen. Met onze luchtpompen is het niet mogelijk, om het water bij 0° aan het koken te brengen, omdat men geene verdunning van 2mm kan voortbrengen, daar er gestadig aan de oppervlakte van het water damp wordt gevormd.

Fig. 492.



Aan den in fig. 492 afgebeelden toestel neemt men een nog opmerkelijker, tot ons onderwerp betrekkelijk, verschijnsel waar. Een ballon met langen hals *a* wordt voor de helft met water gevuld, en wanneer nu door koking al de lucht uit den ballon is gedreven, wordt de hals met eenen kurk gesloten en de ballon omgekeerd, zooals men in fig. 492 ziet. Zoo men hem aan zich zelven overlaat, neemt men geen koken waar; maar wanneer men op het bovenste gedeelte van den ballon koud water giet, dan begint het water in dezen onmiddellijk met de grootste hevigheid te koken. Door het koude water wordt het water in den ballon aan het koken gebragt, omdat daardoor de damp in zijn bovenste gedeelte verdigt wordt, en hierdoor de drukking op de vloeistof wordt verminderd.

De verschillen in het kookpunt zijn door regtstreeksche

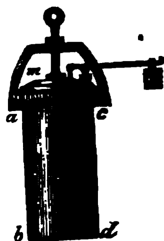
proeven op hoog gelegen plaatsen der Alpen, der Pyreneeën en van andere bergen bevestigd.

Het kokende water is dus niet op alle plaatsen der aarde even warm, en bijgevolg is het ook niet overal even geschikt voor huishoudelijke bedoelingen, zooals ter bereiding van spijzen. In Quito b. v. kookt het water reeds bij 90°, en deze temperatuur is te laag voor het koken van vele zelfstandigheden, die eene temperatuur van 100° behoeven.

Dewijl de stand van den barometer op eene en dezelfde plaats gestadig verandert, volgt hieruit, dat ook het kookpunt altijd aan verandering onderhevig is.

91 Als men de drukking op het vocht vermindert, dan wordt hierdoor het koken vertraagd, en men kan het geheel verhinderen, zoo men de drukking sterk genoeg maakt. Dit is het geval bij den als *Papiniaansche pot* of *Papiniaansche digestor* bekenden toestel, fig. 493. In den grond is dit niets anders dan een kleine stoomketel. Men kan hierin het water tot op zeer hooge temperaturen verwarmen, zonder dat het kookt. De toestel bestaat uit een cilindrisch vat van ijzer, of liever nog van geel of rood koper, welks wanden in staat zijn, om eene zeer sterke drukking te verdragen. Eene opening, in het vat aanwezig, wordt gesloten door eene veiligheidsklep, die men zoo sterk kan beladen, dat er eene drukking van veertig tot vijftig atmospheeren noodig is, om haar op te ligten. Het koken is onmogelijk, omdat de damp boven de vloeistof niet kan ontwijken, en bijgevolg eene drukking uitoefent, die sterk genoeg is, om het koken te verhinderen. Zoodra men echter de klep opent, stroomt de damp met eene buitengemeene kracht naar buiten, maar tevens daalt ook de temperatuur van het vat, omdat het al de warmte moet leveren, die op eens bij de rijkelijke vorming van dampen wordt gebonden.

Fig. 493.



Dit werktuig werd in het midden der zeventiende eeuw uitgevonden door PAPIN, een geleerde te Marburg in Kassel. Het diende tot eene menigte van merkwaardige proeven, ten deele om de mechanische kracht van den damp, en ten deele om het oplossende vermogen van boven 100° verwarmd water aan te toonen. Met verbazing zag men, dat het mogelijk was, om uit beenderen eene even zoo voedzame zelfstandigheid te trekken, als uit het beste spiervleesch.

Wanneer men water tot koken brengt in een vat, waaruit de damp slechts door betrekkelijk kleine openingen kan ontwijken, dan neemt men eene verhooging van het kookpunt waar. Door eene kleine opening kan namelijk al de damp, die op ieder oogenblik wordt ontwikkeld door de in het vocht overgaande warmte, alleen dan uitstroomen, wanneer, door de grootere spankracht van den damp, de snelheid van uitstrooming is vermeerderd.

In een vocht staan de binnenste deelen niet alleen onder de drukking, welke door de oppervlakte wordt gedragen, maar ook nog onder de drukking eener vochtkolom. Indien men b. v. eenen ketel ter hoogte van 32 voet met water had gevuld, dan zou er op den bodem van den ketel eene drukking van twee atmospheeren bestaan, en hier zouden dus eerst bij eene temperatuur van 121,4° dampbellen kunnen worden gevormd. Daar echter de temperatuur der vloeistof aan de oppervlakte niet boven 100° kan rijzen, zal het vocht van den bodem, ten gevolge van zijn geringe specifiek gewigt, aanhoudend oprijzen. Daar de drukking op het water onder dit oprijzen gestadig vermindert, worden er dampbellen gevormd, maar de temperatuur van deze neemt langzamerhand van 121° tot 100° af. De dampbellen, welke beneden worden gevormd, nemen des te meer toe in grootte, hoe hooger zij komen, omdat de drukking, onder welke zij staan, steeds kleiner wordt. Deze verschijnselen neemt men zelfs reeds waar in kleine vaten, in welke het water slechts weinig duimen diep is.— Eer het koken volkomen begint, worden er op den bodem reeds dampbellen gevormd, die echter bij het omhoog rijzen zich plotseling weder verdigten, dewijl zij in vochtlagen komen, wier temperatuur nog te laag is. Van hier ontstaat het eigenaardige geruisch, hetwelk men eenige oogenblikken vóór het koken hoort. Wanneer men deze proef doet met eenen glazen kolf, dan ziet men hoe de blazen aan den bodem ontstaan, hoe zij omhoog rijzen en dadelijk verdwijnen. Men zegt dan, dat het water *zingt*. Het zingen is een teeken, dat het vocht spoedig zal gaan koken.

Ook wordt het koken vertraagd door zelfstandigheden, die in het water zijn opgelost. Zoo kookt eene verzadigde oplossing van keukenzout eerst bij 108,4°, eene oplossing van salpeter bij 116°; eene verzadigde oplossing van azijnzure potasch eerst bij 169°, van salpeterzure ammoniak eerst bij 180°.

Verdamping noemt men de vorming van damp aan de vrije 92
oppervlakte van een vocht, terwijl, gelijk wij gezien hebben, het koken daarin bestaat, dat ook in het binnenste van het vocht damp wordt gevormd. Het water verdampt aan de oppervlakte der stroomen, zeeën, enz., het verdampt aan de oppervlakte van den vochtigen grond, aan die der planten. Natuurlijk heeft de zoo ontwikkelde waterdamp geene spankracht genoeg, om de drukking van de dampkringslucht te overwinnen. De dagelijksche ondervinding leert ons reeds, dat er bij elke temperatuur waterdamp wordt gevormd, en dat deze reeds bij de zwakste spanning zich in de lucht verbreidt. In eene met lucht gevulde ruimte kan zich juist even zooveel waterdamp verspreiden, als in eene even groote luchtledige ruimte, onder eenigzins gelijke omstandigheden. De waterdamp wordt, hoe zwak zijne spankracht ook wezen moge, even zoo goed met de lucht vermengd, als twee gazen zich met elkander vermengen. De eenige voorwaarde

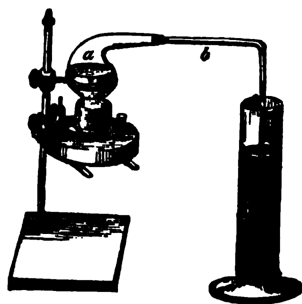
derhalve, welke vervuld moet worden, om eene vloeistof te doen verdampen, is deze, dat de omringende luchtlagen niet met damp verzadigd zijn. Daar voorts bij de vermenging van gazen de moleculen van het eene gas een mechanisch beletsel daarstellen voor de verbreiding van het andere, is hierin de reden gelegen, dat bij de verdamping de lucht een beletsel is, voor de snelle verbreiding van den damp. In eenen atmospheer, die in volkomene rust verkeert, grijpt daarom de verdamping slechts langzaam plaats, terwijl zij bij eenen in beweging verkeerenden dampkring veel sneller plaats heeft, omdat de vloeistof steeds in aanraking komt met nieuwe luchtlagen, die nog niet met damp zijn verzadigd. Dit is de reden, dat het water zeer snel verdampt, wanneer er een sterke en drooge wind waait.

93 **Gebonden warmte der dampen.** Wanneer een vocht verdampt, dan moet het warmte opnemen, deze warmte, die bij het verdampen gebonden wordt, is voor het gevoel en voor den thermometer even zoo verdwenen, als de warmte die bij het smelten wordt gebonden.

Dat er bij de vorming van dampen warmte wordt gebonden, blijkt reeds daaruit, dat de temperatuur van vochten bij het koken niet verandert. De temperatuur van het kokende water blijft 100°, hoezeer wij ook het vuur mogen versterken; en al de warmte, welke aan het kokende water wordt toegevoerd, dient enkel, om het water van 100° te doen overgaan tot damp van 100°.

Het binden van warmte bij het verdampen van vochten, kan gemakkelijk door het gevoel worden aangetoond. Men behoeft slechts eenige droppels van een gemakkelijk te verdampen vocht, b. v. wijngeest of zwavelaether op de hand te gieten, en men zal op de hand een gevoel van koude hebben, omdat de warmte, die tot de verdamping noodig is, aan de hand wordt onttrokken. Zoo men den bol van eenen thermometer met watten omwikkelt, en op deze zwavelaether druppelt, dan daalt de thermometer eenige graden.

Fig. 494.



Nadat wij nu de wijze hebben leeren kennen, waarop bij de vorming van dampen de warmte wordt gebonden, moeten wij nog de gebonden warmte bepalen naar de grootte, d. i. nagaan *hoeveel* ruimte er noodig is, om eene bepaalde hoeveelheid van eenig vocht in damp te veranderen.

In fig. 494 zij *a* een glazen kolf, in welken water met behulp van eene alcohollamp kokend wordt gehouden. Wanneer nu de dampen, die zich vormen, door eene glazen buis *b* geleid worden in een cilindrisch vat *c*, hetwelk met koud water gevuld is, dan werden

hier de dampen verdigt, en de warmte, die bij de vorming van de dampen in *a* gebonden wordt, moet in *c* weder vrij worden; het koude water in *c* wordt dus langzamerhand verwarmd, en uit de hier voortgebragte temperatuursverhooging kan men besluiten tot de hoeveelheid van de latente warmte der dampen.

Stellen wij, dat het koken in het vat *a* reeds eenigen tijd geduurd heeft, zoodat al de lucht uit het vat gedreven is, en zoo nu eerst het omgebogen einde van de buis in het koude water van den cilinder *c* gedompeld wordt, dan zullen hier al de dampbellen dadelijk verdigt worden, zoodra zij met het koude water in aanraking komen. Naarmate het water in *c* warmer wordt, nemen de dampbellen in grootte toe, totdat eindelijk, wanneer het water in *c* ook tot op de kookhitte verwarmd is, de dampbellen onverdigt door de geheele vochtmassa heengaan; zoodat er dus in *c* zelf eene koking plaats grijpt. Op het oogenblik, dat het koken in *c* begint, moet men de proef afbreken, door het wegnemen van den cilinder *c*.

Gesteld nu, dat er in *c* bij het begin der proef 11 kubieke duimen water van 0° waren, dan zal de cilinder nu, na het afbreken der proef, 13 kubieke duimen water van 100° bevatten, en er zijn dus twee kubieke duimen water bijgekomen. Deze 2 kubieke duimen zijn in het vat *a* verdampt, en in den cilinder *c* verdigt, de latente warmte, die in *a* gebonden werd, is in *c* weder vrij geworden, en heeft hier 11 kubieke duimen water van 0° tot op 100° verwarmd. Dezelfde hoeveelheid warmte, die bij de verdamping van 2 kubieke duimen water wordt opgenomen, is dus voldoende, om de temperatuur van 11 kubieke duimen water van 0° tot op 100° te verhoogen. Nu verhoudt zich 2 : 11 = 1 : 5,5, en wij kunnen dus het resultaat onzer proef ook op de volgende wijze uitdrukken: De hoeveelheid warmte, die noodig is om eene bepaalde hoeveelheid water van 100° te doen overgaan in damp van 100°, is voldoende, om de temperatuur van eene 5½ maal grootere massa water van 0° tot 100° te doen rijzen.

Boven hebben wij vermeld, dat men als eenheid der hoeveelheden warmte die hoeveelheid aanneemt, die toereikend is, om de temperatuur van een pond water met 1 graad te verhoogen; om de temperatuur van 5½ pond water met 1° te verhoogen, zijn dus 5,5, en om de temperatuur dezer hoeveelheid water met 100° te verhoogen, zijn er 550 zulke warmteeenheden noodig.

De latente warmte van 1 pond waterdamp is dus gelijk aan 550.

De boven medegedeelde proef is nu wel niet geschikt, om de latente warmte van den waterdamp naauwkeurig te bepalen, en zal altijd meer of minder onjuiste resultaten geven; maar zij dient vooral, om de zaak regt aanschouwelijk voor te stellen. Hetgeen de resultaten dezer proef vooral onnaauwkeurig maakt, is de omstandigheid, dat er bij de hooge tempe-

ratuur, tot op welke het water in den cilinder *c* moet worden gebragt, een belangrijk verlies van warmte aan de omringende lucht plaats heeft. Daarbij wordt er ook eene niet onaanzienlijke hoeveelheid waterdamp reeds in de buis verdigt, geeft hier hare vrij wordende warmte aan de lucht af, en komt als water in den cilinder *c*. Men zal dus gemakkelijk inzien, dat er tot op het oogenblik, waarop het water in den cilinder *c* begint te koken, meer water uit het vat *a* zal zijn overgekomen, dan het geval zou zijn, indien de beide vermelde oorzaken van onnaauwkeurigheid niet bestonden, en bijgevolg moet deze proef doorgaans eene te kleine waardij geven voor de latente warmte van den waterdamp. De naauwkeurige methoden ter bepaling van deze waardij kunnen wij hier niet uitvoeriger mededeelen.

Bij de destillatie worden de dampen, die in eenig vat door verwarming ontstaan, in eene buis geleid, die met koud water is omgeven. Hierdoor gaan de dampen in deze buis in eene vloeistof over, waarbij de temperatuur van het water dat tot bekoeling dient aanmerkelijk verhoogd wordt, door de warmte, welke bij het condenseren der dampen vrij wordt. Men kan zich hiervan reeds gemakkelijk overtuigen, bij het beschouwen van den kleinen destilleertoestel in fig. 495, bij welken de

Fig. 495.

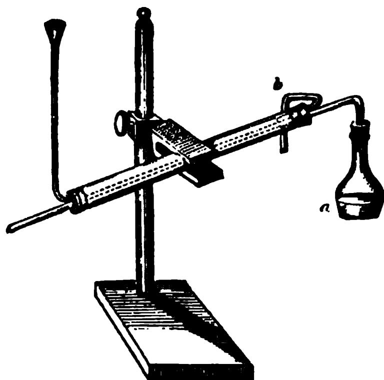


Fig. 496.



dampen uit de glazen kolf, waarin zij ontwikkeld zijn, in eene regte buis worden geleid, die door eene wijdere, het koelwater bevattende buis, heengaat. Het koelwater, dat aan het ondereinde der verkoelingsbuis koud toestroomt, vloeit aan het bovenste einde der buis weder verwarmd weg. Bij destillatien op eene grootere schaal, is de buis, in welke de dampen moeten worden gecondenseerd, in de gedaante van eene schroeflijn heengeleid door het met koelwater gevulde vat, zooals men ziet in fig. 496, opdat de dampen zoo lang mogelijk in aanraking blijven met het koude water, en men de overtuiging kan hebben, dat er aan het opene einde der buis geene onverdigte damp ontwijkt. Wanneer een zoodanige toestel gedurende

eenigen tijd heeft gewerkt, zal men de bovenste lagen van het water in het koelvat altijd zeer heet vinden, omdat het warme water natuurlijk onmiddellijk omhoog rijst.

Met behulp van dezen destilleertoestel zou men nu de waardij voor de latente warmte der dampen kunnen bepalen, indien het mogelijk ware, om telkens met naauwkeurigheid te bepalen, hoeveel damp er in eenen bepaalden tijd is verdigt, en hoeveel warmte hij aan het koelwater heeft afgegeven. Ten einde de latente warmte ten naauwkeurigste te bepalen, behoeft men derhalve eenen destilleertoestel slechts zoodanig in te rigten, dat deze grootheden met naauwkeurigheid kunnen worden bepaald. Ingevolge dit beginsel, heeft men inderdaad de latente warmte van onderscheidene vochten nagespoord. De latente warmte van den damp van

Water, is	540
Alcohol	214
Zwavelaether	90

Dat wil zeggen, dat er, om een pond van deze vloeistoffen bij de gewone drukking van den atmospheer in damp te doen overgaan, 540, 214 en 90 maal zooveel warmte wordt gebonden, als noodig is, om de temperatuur van 1 pond water met 1° te verhoogen.

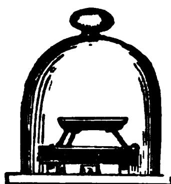
De latente warmte der dampen is niet voor alle temperaturen dezelfde, zij is grooter voor lagere, en kleiner voor hooge temperaturen.

Het voortbrengen van koude door verdamping. Wanneer eene vloei- 94
stof in de vrije lucht kookt, dan behoudt zij eene standvastige temperatuur, omdat zij van het vuur door de wanden van het vat heen steeds zooveel warmte ontvangt, als door de vorming van damp wordt opgenomen. Geschiedt het koken echter onder den recipient van de luchtpomp, dan daalt de temperatuur van het vocht aanhoudend, omdat dan de damp de latente warmte, die tot zijne vorming vereischt wordt, aan de vloeistof zelve en aan de omringende ligchamen moet onttrekken.

Zoo men een weinig alcohol, of nog liever zwavelaether, op de hand giet, dan gevoelt men eene merkbare verkoeling, omdat de vloeistoffen de warmte, die tot hare verdamping noodig is, aan de hand onttrekken. Als wij bij heet weder in de togtlucht komen, dan gevoelen wij dadelijk eene verfrisschende koelte. Dit is geenzins daarvan een gevolg, dat de lucht ons koude toevoert; want al is de langs ons heenstrijkende lucht zeer warm, zooals de thermometer ons kan aantoonen, dan brengt de togtlucht ons toch verkoeling aan, omdat zij eene levendige verdamping op de huid onderhoudt.— Wij hebben een drukkend zoel gevoel, als wij ons in eenen met vocht verzadigden windstillen atmospheer bevinden, in welken de verdamping aan de oppervlakte van ons ligchaam niet kan plaats grijpen. Door het binden van warmte, hetwelk bij snelle verdamping plaats grijpt, kan men de navolgende proeven verklaren:

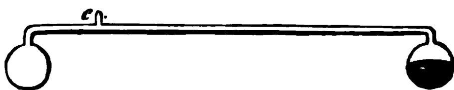
95 **Bevriezen van het water in ledige ruimten.** Onder den recipient der luchtpomp plaatse men een wijd glazen vat, met geconcentreerd zwavelzuur gevuld. Eenige duimen daarboven plaatst men een zeer dun vlak metalen schaaltje, fig. 497, hetwelk eenige wigtjes water bevat. Doorgaans is dit schaaltje opgehangen aan drie draden, of wel, het rust op dunne metalen staafjes, die van den rand van het glazen vat omhoog gaan. Indien men nu de lucht zooveel mogelijk heeft uitgeperst, en dan eenige minuten wacht, dan ziet men in het schaaltje ijsnaalden ontstaan, en na verloop van eenigen tijd is de geheele massa waters overgegaan in eene vaste massa. Deze merkwaardige proef hebben wij aan LESLIE te danken. Het zwavelzuur neemt den waterdamp op, zoodra hij gevormd wordt, en onderhoudt op die wijze eene snelle verdamping. Al de ligchamen, die den waterdamp sterk opnemen, brengen hetzelfde uitwerksel te weeg. Het metalen schaaltje moet zeer dun wezen, opdat het ook in de bekoeling kan deelen, het moet van de omringende ligchamen door slechte warmtegeleiders zijn afgescheiden, opdat er aan het water niet van buiten warmte kan worden toegevoerd.

Fig. 497.



In den *Kryophoor van* WOLLASTON bevriest het water eveneens door zijne eigene verdamping. Twee glazen bollen, fig. 498, zijn door eene buis verbonden. In elken bol wordt een weinig water gebragt, en voorts door koking al de lucht uit den toestel gedreven. Wanneer dit geschied is, dan wordt de opening bij *c* voor de blaaspijp toegesmolten, en de toestel op deze wijze luchtdigt gesloten. Als men dan al het water in eenen bol bij elkander laat vloeijen, en vervolgens den anderen bol in een koudmakend mengsel dompelt, dan wordt er, door de aanhoudende verdigting der waterdampen, in den anderen bol eene zoo snelle verdamping voortgebragt, dat het water bevriest.

Fig. 498.



Ook door de snelle verdamping van zwavelaether kan men het water gemakkelijk doen bevriezen. Tot dit doel omwikkelt men eene met water gevulde, ongeveer 1 lijn wijde dunne glazen buis met boomwol, waarop men zwavelaether droppelt. De buis wordt, op deze wijze toegesteld, in een glazen vat onder de klok der luchtpomp gebragt. Bij het vormen van een luchtledig wordt nu de aether zoo snel verdampt, dat het water bevriest.

96 **Bevriezen van het kwikzilver.** Door het verdampen kan de afkoeling worden gebragt tot het vriespunt van het kwikzilver. Tot bereiking van dit doel omwikkelt men den thermometerbol met watten of met een sponsachtig weefsel, hetwelk men

bevochtigt met zwavelkoolstof, of, liever nog, met vloeibaar zwavelig zuur. De verdamping geschiedt zoo snel, en de daardoor onttrokken hoeveelheid warmte is zoo groot, dat de thermometer tot — 10°, — 20°, — 30° daalt, en dat na verloop van eenige ogenblikken het kwikzilver in den bol bevriest.

Eene vloeistof verdampt des te sneller, en brengt dus bij hare verdamping eene des te grootere koude voort, hoe lager haar kookpunt ligt; er wordt daarom door het verdampen van zwavelaether eene sterkere koude voortgebragt, dan door water, door vloeibaar zwaveligzuur meer dan door aether, door vloeibaar koolstofzuur meer dan door zwaveligzuur.

DERDE HOOFDSTUK.

Soortelijke warmte der ligchamen.

Middelen, om de hoeveelheden warmte te vergelijken. Als eene 97
grondstelling, die geen bewijs noodig heeft, nemen wij aan, dat steeds dezelfde hoeveelheid warmte noodig zij, om hetzelfde uitwerksel voort te brengen. Wanneer b. v. een pond ijzer door de eene of andere oorzaak tot op eene temperatuur van 11° verwarmd wordt, dan is daartoe altijd eene en dezelfde hoeveelheid warmte noodig, hetzij deze nu afkomstig is uit de zon of van eenen vuurhaard, hetzij zij door aanraking of door uitstraling aan het ijzer is medegedeeld. Eveneens zal steeds dezelfde hoeveelheid warmte gevorderd worden, om een pond ijs van 0° te smelten; even zoo is er dan ook altijd eene bepaalde hoeveelheid warmte noodig, om 1 pond water van 100° te verdampen. De hoeveelheid warmte moet echter ook geëvenredigd zijn aan het gewigt der zelfstandigheden, op welke zij werken, om een bepaald effect voort te brengen, dus om b. v. de temperatuur van 100 pond ijzer van 10° tot 11° te verhoogen. Voor het smelten van 100 pond ijs of voor het verdampen van 100 pond water, behoeft men eene 100 maal grootere hoeveelheid warmte, dan om diezelfde uitwerkselen bij 1 pond van die zelfstandigheden voort te brengen.

De eene stof heeft eene grootere of kleinere *warmte-capaciteit*, naarmate er eene grootere of kleinere hoeveelheid warmte noodig is, om er eene bepaalde verandering van temperatuur, b. v. eene temperatuurverhooging van 1° voort te brengen. De hoeveelheid warmte, welke daartoe noodig is, noemt men de *soortelijke* of *specifieke* warmte dier stof. Twee ligchamen hebben eene gelijke warmte-capaciteit, wanneer zij, bij gelijk gewigt, dezelfde hoeveelheden warmte noodig hebben, om hunne temperatuur met 1° te ver-

hoogen. Daarentegen is de warmtecapaciteit van het eene ligchaam 2 maal, 3 maal en 4 maal grooter dan die van het andere, als daartoe eene 2—, 3— en 4 maal grootere hoeveelheid warmte noodig is.

Uit deze bepalingen volgt, dat een ligchaam, welks gewigt *m* en welks warmtecapaciteit *c* is, bij eene verhooging of verlaging van temperatuur van t°, eene hoeveelheid warmte opneemt of verliest, die door het product *mct* wordt uitgedrukt.

Ter bepaling van de soortelijke warmte der ligchamen, kan men drie onderscheidene methoden volgen, namelijk: de methode van het smelten van ijs, de vermengingsmethode en de verkoelingsmethode.

Bij de *methode door het smelten van ijs* wordt het ligchaam, waarvan men de specifieke warmte wil bepalen, na te zijn gewogen en tot op eene bepaalde temperatuur verwarmd, in een vat gebragt, hetwelk met stukjes ijs gevuld is. Onderwijl het ligchaam nu verkoelt, wordt er een gedeelte van het ijs gesmolten, en uit de hoeveelheid van het gesmolten ijs blijkt nu de hoeveelheid warmte, welke het ligchaam heeft verloren, en daaruit de specifieke warmte van het ligchaam.

De *verkoelingsmethode* is op de volgende wet gegrond. Wanneer een verwarmd ligchaam gebragt wordt in eene ruimte, in welke het enkel door uitstraling zijne warmte kan verliezen, dan zal het onder overigens gelijke omstandigheden des te langzamer verkoelen, hoe grooter zijne specifieke warmte is.

De naauwkeurigste resultaten verkrijgt men door de *vermengingsmethode*, die wij ook eenigzins uitvoeriger zullen beschouwen. Deze methode bestaat in de hoofdzaak daarin, dat men eene gewogen hoeveelheid van het te onderzoeken ligchaam tot op eene bepaalde temperatuur verwarmt, en het ligchaam dan dompelt in een vat met water, welks temperatuur verhoogd wordt door de afkoeling van dit ligchaam. Wanneer nu de hoeveelheid van het koelwater bekend is, en wanneer men tevens heeft nagegaan, welke temperatuursverhooging de afkoeling van het ingedompelde ligchaam in het water heeft voortgebragt, dan kan men hieruit de specifieke warmte van dit ligchaam berekenen.

Stellen wij, dat een bol van platina, ter zwaarte van 200 wigtjes, en tot op 100° verwarmd, gedompeld zij in eene hoeveelheid van 105 wigtjes water van 15°, en dat dit water door de afkoeling van den bol tot 20°, dus met 5° is verwarmd, dan is het duidelijk, dat de 200 wigtjes platina met 80° zijn afgekoeld, om de temperatuur van 105 wigtjes water, met 5° te verhoogen. Dezelfde hoeveelheid warmte, die door den bol van platina wordt afgegeven, zou dus ook voldoende geweest zijn, om de temperatuur van 525 wigtjes met 1° te verhoogen. Zoo de bol een gewigt van slechts één wigtje had bezeten, dan zou de hoeveelheid warmte, die door hem bij eene temperatuursverlaging van 80° wordt afgegeven, ook slechts $^{525}/_{200}$, dus slechts de temperatuur van 2,625 wigtjes water met 1° of

de temperatuur van 1 wigtje met 2,625° hebben kunnen verhoogen. Daaruit volgt nu, dat door dezelfde hoeveelheid warmte, door welke de temperatuur van 1 wigtje platina met 80° wordt verhoogd, de temperatuur van eene gelijke hoeveelheid water slechts met 2,625° kan worden vermeerderd, en het platina behoeft slecht $^{2,625}/_{80}$, dus 0,0328 maal minder warmte, om eene gelijke verhooging van temperatuur te ondergaan, als eene gelijke massa water; de specifieke warmte van het platina is bij gevolg 0,0328.

Noemen wij m het gewigt en t de temperatuursverhooging van het koelwater (in het boven berekende voorbeeld 105 wigtjes en 5°), m' en t' het gewigt en de verlaging van temperatuur van het afgekoelde ligchaam (in ons voorbeeld 200 wigtjes platina en 80°) dan kan men uit deze wijze van beschouwing, de navolgende formule opstellen voor de berekening der specifieke warmte c van het afgekoelde ligchaam:

$$c = \frac{m\,t}{m'\,t'},$$

d. i. men vindt de specifieke warmte van het afgekoelde ligchaam, als men zijn gewigt vermenigvuldigt met de verlaging van zijne temperatuur, en dit product deelt in het product der vermenigvuldiging van het gewigt van het koelwater met de verhooging van temperatuur, welke dit aanbiedt.

Resultaten der proeven omtrent de soortelijke warmte. De bepaling 98
der specifieke warmte is door de onderzoekingen van DULONG en PETIT van groot belang geworden voor de scheikunde, daar zij bevonden, dat het product, hetwelk men verkrijgt uit de vermenigvuldiging van de specifieke warmte van een element met zijn atomengewigt, steeds dezelfde waardij heeft. Zoo vonden zij b. v. de specifieke warmte van het ijzer gelijk aan 0,1100; het atoomgewigt van dit metaal is 339,2, en het product van deze beide grootheden is 37,31. Wanneer men de specifieke warmte van het koper, 0,0949, vermenigvuldigt met zijn atoomgewigt, 295,7, dan krijgt men het product 37,55, eene waardij, welke met de voor het ijzer gevondene bijkans volkomen overeenkomt. Even zoo vonden zij, dat dit product voor alle metalen bijkans naauwkeurig dezelfde waardij heeft, en het scheen dus, dat men geregtigd was om als wet aan te nemen, dat de specifieke warmte der metalen omgekeerd evenredig is aan hun atoomgewigt.

Hierdoor bezat men nu een middel te meer, om het atoomgewigt van een ligchaam te leeren kennen, en om de waardij der langs andere wegen gevonden atoomgewigten te controleeren. De atoomgewigten der elementen waren in den tijd, toen DULONG en PETIT hunne onderzoekingen in het werk stelden, nog niet zoo naauwkeurig bepaald als thans; vaak kon men voor hetzelfde ligchaam tusschen onderscheidene opgaven van atoomgewigten kiezen, en DULONG en PETIT kozen natuurlijk dat atoomgewigt, dat met hunne wet het best strookte.

Later werden de atoomgewigten op andere wijzen naauwkeuriger bepaald, maar de waarheid der wet van DULONG en PETIT erlangde hierdoor geene bevestiging; integendeel stootte men op afwijkingen, die juist in strijd schenen met deze wet. Door de nieuwste onderzoekingen van REGNAULT is echter de juistheid van deze wet boven allen twijfel verheven.

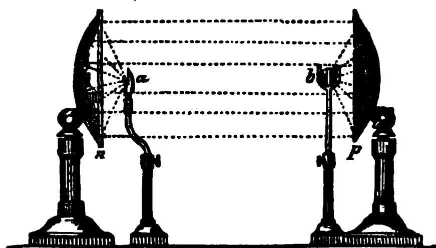
VIERDE HOOFDSTUK.

Voortplanting der warmte.

99 **Het bestaan der stralende warmte.** De stralende warmte doordringt sommige ligchamen op dezelfde wijze, waarop het licht door doorzigtige ligchamen heengaat. De zonnestralen b. v. treffen onze aarde, nadat zij door den geheelen atmospheer zijn heen gegaan, en verwarmen de oppervlakte der aarde, terwijl de hoogere streken der lucht koud blijven; de warmtestralen gaan dus voor het grootste gedeelte door den dampkring heen, zonder door hem te worden opgenomen. Wanneer men digt bij het vuur van eenen haard komt, dan gevoelt men eene brandende hitte, en toch is de lucht tusschen ons en het vuur niet tot op eenen zoodanigen graad verwarmd; want als men een scherm voor den haard plaatst, verdwijnt de warmte oogenblikkelijk, hetgeen onmogelijk zou zijn, indien werkelijk de geheele massa der lucht, die ons omringt, eene zoo hooge temperatuur bezat. Heete ligchamen kunnen dus naar alle zijden warmte uitzenden, die door de lucht heengaat, even als de lichtstralen door doorzigtige ligchamen. Men spreekt daarom van *stralende warmte* en van *warmtestralen*, even zoo goed als men van lichtstralen spreekt.

Als men twee groote spherische of parabolische holle spiegels van gepolijst koperblik, fig. 499, op eenen afstand van 5 à 6 ellen van elkander zoodanig plaatst, dat de assen van beide spiegels in ééne lijn vallen, en als men dan in het brandpunt van den eenen spiegel een stuk zwam, en in dat van den anderen eenen bijkans wit gloeijenden ijzeren bol of eene aangegloeide kool plaatst, en de verbranding van deze met eenen blaasbalk levendig

Fig. 499.



onderhoudt, dan zal de zwam spoedig in brand geraken, even alsof zij met het vuur zelf in aanraking ware. Deze proef bewijst, dat het gloeijende ligchaam warmtestralen uitzendt, want het is duidelijk, dat de zwam wel niet daardoor in brand zal geraken, dat de tusschen gelegen luchtlagen langzamerhand zoo sterk verhit zijn geworden. Als men de zwam uit het brandpunt neemt, dan wordt zij niet ontstoken, al brengt men haar ook nog veel nader bij het gloeijende ligchaam.

Zoo men in de plaats van den gloeijenden bol eenen bol van 300° brengt, en in de plaats der zwam eenen thermometer, dan rijst de thermometer spoedig, hetgeen dus bewijst, dat ook de bol van 300° warmtestralen uitzendt.

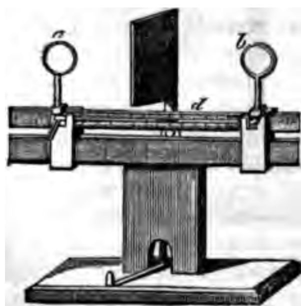
Stelt men in de plaats van den bol van 300° een vat met kokend water, of met water van 90°, 80° of 70°, dan zal men welligt in het geheel geene rijzing van den thermometer waarnemen; maar dit bewijst nog niet, dat de wanden van het vat bij deze temperatuur geene warmte meer uitstralen, maar enkel, dat hier de gewone thermometer niet gevoelig genoeg is. Men moet daarom gevoeliger werktuigen gebruiken, b. v. eenen luchtthermometer, den differentiaalthermometer VAN RUMFORD of LESLIE of den thermomultiplicator van MELLONI.

Fig. 500.



Een luchtthermometer kan tot dit doel ten naastenbij zoodanig worden ingerigt, als in fig. 500 is voorgesteld. Een bol van 3 à 4 duim diameter is geblazen aan het einde eener buis, wier diameter ongeveer 1mm bedraagt; deze is gebogen, zooals men in de figuur ziet, heeft in haar midden eenen tweeden bol, en is aan haar uiteinde met eenen trechter voorzien. Door deze inrigting kan de zuil van vocht, die tusschen *c* en *d* is, niet in den ondersten bol vloeijen, noch boven uit de buis uitstroomen. Wanneer de afwijkingen van het werktuig bekend zijn, dan kan men wel ten naasten bij zijne gevoeligheid berekenen, maar men kan het niet gradueeren, omdat het vocht slechts aan de drukking van den dampkring is blootgesteld, en omdat er uit den ondersten bol bij afwisseling lucht uit- en intreedt.

Fig. 501.



De *differentiaalthermometer* VAN RUMFORD, fig. 501, bestaat uit twee glazen bollen, *a* en *b*, die vereenigd zijn door eene gebogen glazen buis, wier horizontale gedeelte 5 à 6 palm lengte heeft. In deze buis is eene zuil van alcohol of zwavelzuur, waarop van beide zijden de lucht des ballons drukt. De zuil zal dus alleen dan op eene bepaalde plaats blijven staan, als de druk-

king van beide zijden gelijk is. De plaats, welke door het vochtzuiltje wordt ingenomen, wanneer de temperatuur van beide bollen volkomen gelijk is, stelt het nulpunt der schaal daar. Wordt nu de eene bol meer verwarmd dan de andere, dan wordt het zuiltje gedreven naar den minder warmen bol, en zijn afstand van het nulpunt beantwoordt aan het verschil in temperatuur der beide bollen.

Fig. 502.

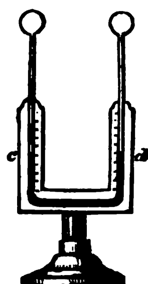
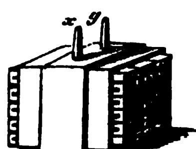


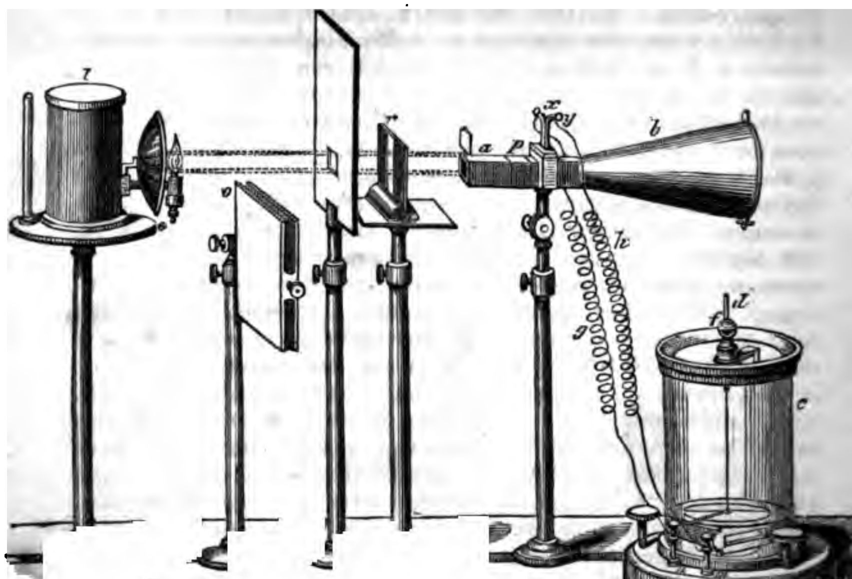
Fig. 503.



De *differentiaalthermometer van Leslie*, fig. 502, is op eene overeenkomstige wijze vervaardigd als de vorige, behalve dat de beide bollen doorgaans iets kleiner zijn, en de loodregte armen der buis, door welke zij vereenigd worden langer zijn, en digter bij elkander staan.

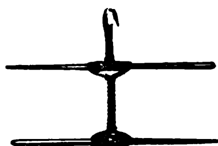
De *thermomultiplicator van Melloni* bestaat uit eene thermoelectrische zuil, fig. 503, die reeds vroeger beschreven is, en

Fig. 504.



uit eenen zeer gevoeligen multiplicator. De zuil is aan beide zijden zorgvuldig met rookzwart bedekt, en met haar einde bij *p* fig. 504, op een statief geplaatst; de bussen *a* en *b* dienen om de luchtstroomen en de stralen van ter zijde van de zuil af te keeren, en daar de bus *b* eene kegelvormige gedaante heeft, dient zij ook, om van deze zijde de warmtestralen meer te concentreren, zoo dit noodig is. Het koperdraad, hetwelk den galvanometer daarstelt, is 7 à 8 el lang, en is met 40 omwindingen gewonden op een metalen raam. De goed uitgezochte, gemagnetiseerde en zorgvuldig gecompenseerde naalden zijn zoodanig met elkander verbonden, als in fig. 505 is voorgesteld. Dit sijsteem is opgehangen aan eenen draad van ongesponnen zijde, die in het midden van eenen glazen klok hangt. Door het ronddraaijen van den knop *f* kan men den draad eenigzins hooger of lager stellen. De toestel wordt op eenen genoegzaam stevigen tafel waterpas geplaatst, zoodanig, dat de draad juist in het midden van den verdeelden cirkel hangt, en dat de naalden, wanneer hare rigting in die van den magnetischen meridiaan valt, op het nulpunt der schaal wijzen.

Fig. 505.



Om de thermoëlectrische zuil met den multiplicator te verbinden, dienen de ligt uitrekbare draadspiralen *g* en *h*, die bij *x* en *y* verbonden zijn met de beide einden der thermoëlectrische zuil, en bij *m* en *n* met de einden van den multiplicatordraad. Het minste verschil in temperatuur tusschen de beide met rookzwart bedekte einden der zuil brengt nu reeds eene afwijking der naalden te weeg, die men op de schaal kan aflezen.

Het warmtestralend vermogen der ligchamen. Het vermogen der 100
ligchamen, om warmte uit te stralen, is zeer ongelijk, en is wezenlijk afhankelijk van den toestand der oppervlakten. Over het algemeen stralen de oppervlakten van minder digte ligchamen, onder overigens gelijke omstandigheden, meer warmte uit, dan de oppervlakten van digtere ligchamen. Het ongelijke uitstralingsvermogen van verschillende oppervlakten, is door LESLIE op de navolgende wijze aangetoond. Hij bragt in het brandpunt van eenen hollen spiegel den eenen bol van zijnen differentiaalthermometer, en plaatste op eenigen afstand in de as van den hollen spiegel, eenen hollen, met kokend water gevulden teerling van koperblik, wiens zijden 15 tot 18 duim lengte hadden. De eene zijde van dezen teerling was bedekt met rookzwart, eene andere gepolijst. Als nu de gepolijste oppervlakte naar den spiegel gekeerd was, dan was de werking op den differentiaal-thermometer veel geringer, dan wanneer de met rookzwart bedekte oppervlakte naar den spiegel werd gekeerd, en dus werd er door de met rookzwart bedekte oppervlakte meer warmte uitgestraald, dan door de gepolijste metalen oppervlakte.

Deze methode is wel zeer geschikt om te doen zien, dat er verschillen in het uitstralingsvermogen bestaan; maar voor naauwkeuriger vergelijkingen is de door MELLONI voorgeschreven handelwijze verre te verkiezen. Deze plaatste op eenen geschikten afstand van zijne thermoëlectrische zuil eenen teerling van koperblik, wiens zijden 7 — 8 duim lang waren, en die gevuld was met heet water, hetwelk door middel van eene alcohollamp op eene standvastige temperatuur werd gehouden. Van de zijvlakten van dezen teerling was de eene met rookzwart besmeerd, eene andere met loodwit, eene derde met Oost-Indische inkt en de vierde zijde was gepolijst. Naar mate de eene of de andere dezer zijvlakten naar den thermomultiplicator gekeerd is, zijn de afwijkingen van de naald verschillend, en uit deze verschillende afwijkingen ziet men dan onmiddellijk de verhouding, in welke het uitstralingsvermogen der verschillende oppervlakten tot elkander staat. Op deze wijze werd het uitstralingsvermogen van de navolgende ligchamen bepaald:

Rookzwart . . .	100.	Oost-Indische inkt. .	85.
Loodwit. . . .	100.	Gomlak	72.
Vischlijm. . . .	91.	Metalen oppervlakte .	12.

Wanneer men dus het uitstralingsvermogen van het rookzwart 100 noemt, dan is het uitstralingsvermogen eener gepolijste metalen oppervlakte 12, en dus $^{12}/_{100}$ van dat der met roet bedekte oppervlakte.

101 **Opslorping der warmtestralen.** Ieder ligchaam bezit het vermogen, om de warmtestralen, die, van een ander ligchaam afkomstig, er op vallen, in meerdere of mindere mate op te slorpen. Dit blijkt reeds uit de boven beschreven proeven; want een ligchaam wordt enkel daarom in het brandpunt van den eenen hollen spiegel verwarmd, omdat het de warmtestralen opslorpt, die door den spiegel er op worden geconcentreerd. Dat nu alle ligchamen dit vermogen bezitten, blijkt daaruit, dat allen, aan de zonnestralen blootgesteld, eene temperatuur krijgen, die hooger is dan de temperatuur der lucht.

Het opslorpingsvermogen is voor alle ligchamen niet hetzelfde, hetgeen reeds daaruit blijkt, dat zij niet hetzelfde uitstralingsvermogen bezitten; want eene oppervlakte, die gemakkelijk warmtestralen uitzendt, moet omgekeerd ook de geschiktheid bezitten, om deze stralen op te nemen. De ongelijkheid van het opslorpingsvermogen kan reeds uit eene eenvoudige proef blijken: Men stelle daartoe eenen thermometer, wiens bol zwart gemaakt is, aan de zonnestralen bloot, dan zal het kwikzilver hierin veel hooger rijzen dan in eenen anderen, bij welken de bol niet zwart is gemaakt; en de zwart gemaakte oppervlakte van den eenen thermometerbol slorpt bijgevolg meer warmtestralen op, dan de gladde oppervlakte ... anderen.

...men worden derhalve verwarmd door de warmte-

stralen, welke zij opnemen; en zoo men dus een ligchaam zoo sterk mogelijk wil verwarmen, moet men het bedekken met eene zelfstandigheid, door welke veel warmtestralen worden opgeslorpt. Men bedekt daarom dan ook alle thermoscopen, door middel van welke men het uitstralen van warmte regt merkbaar wil maken, de bollen van de differentiaal-thermometers, en de beide uiteinden der thermoëlectrische zuil met rookzwart, omdat dit onder alle bekende ligchamen het sterkste opslorpingsvermogen voor warmtestralen bezit. Wij hebben boven gezien, dat metalen oppervlakten slechts een zeer gering uitstralingsvermogen bezitten, en hieruit volgt, dat zij ook slechts in eene zeer geringe mate in staat zijn, om de warmtestralen op te slorpen.

Reflexie en diffusie der warmtestralen. Over het algemeen bezitten 102
de ligchamen het vermogen, om een gedeelte der op hen vallende warmtestralen terug te kaatsen, op dezelfde wijze, waarop ook de lichtstralen regelmatig of onregelmatig worden teruggekaatst. De spiegels, die bij de boven vermelde proeven dienden, geven een beslissend bewijs van de reflexie der warmtestralen, want zij worden zelfs bij de proeve met de zwam niet verwarmd.

Eene eenvoudige redenering kan ons overtuigen, dat de meeste ligchamen dit terugkaatsingsvermogen moeten bezitten, en dat het, om zoo te spreken complementair is voor het opslorpingsvermogen; want immers de som der geabsorbeerde en der teruggekaatste warmtestralen moet natuurlijk gelijk zijn aan de som der invallende stralen, ten minste in de veronderstelling, dat het ligchaam geene warmtestralen doorlaat. Wanneer dus het reflexievermogen grooter is, dan is het absorptievermogen kleiner, en omgekeerd. Een ligchaam, dat in het geheel geene warmtestralen terugkaatst, moet alle stralen absorberen, hetgeen dan ook inderdaad het geval is bij zoodanige oppervlakten, die zorgvuldig met rookzwart bedekt zijn. Gepolijste metalen oppervlakten daarentegen, die een groot reflexievermogen bezitten, absorberen slechts zeer weinig warmtestralen.

De warmtestralen worden geheel en al teruggekaatst volgens dezelfde wetten, als de lichtstralen; d. i. de hoek van terugkaatsing is gelijk aan den hoek van inval. Dit blijkt reeds uit de proeven met de holle spiegels, daar immers de brandpunten voor de warmtestralen zamenvallen met die der lichtstralen.

Even zoo als er aan de oppervlakte van een wit volkomen gepolijst ligchaam lichtstralen naar alle zijden onregelmatig verstrooid worden, ondergaan ook de warmtestralen aan de oppervlakte der meeste ligchamen eene *diffusie*. Hiervan kan men zich door de navolgende proef overtuigen. Door eene opening in het venster van eene donkere kamer, late men zonnestralen op eenen tegenover de opening gelegenen wand vallen, dan zal die verlichte plaats, welke van alle zijden zigtbaar is, omdat zij het zonnelicht naar alle zijden verstrooit, ook

even zoo naar alle zijden warmtestralen afgeven, alsof zij zelve eene warmtebron ware. Deze diffusie der warmtestralen wordt merkbaar, als men de thermoëlectrische zuil naar de verlichte plaats keert; men verkrijgt dan eenen uitslag van de naald, op welke plaats van de kamer het werktuig ook gesteld zij. Deze werking kan dus niet ontstaan door eene regelmatige terugkaatsing; en dat zij ook niet het gevolg is van de verwarming der door de zonnestralen beschenen plaats, blijkt daaruit, dat de naald onmiddellijk tot het nulpunt der schaal terugkeert, zoodra de opening in het venster wordt gesloten.

103 **Vermogen der ligchamen, om warmtestralen door te laten.** Dat vaste ligchamen warmtestralen op dezelfde wijze kunnen doorlaten als doorzigtige ligchamen de lichtstralen doorlaten, blijkt reeds daaruit, dat men in staat is, om brandbare ligchamen te doen ontvlammen, als men ze houdt in het brandpunt van eene aan de zonnestralen blootgestelde lens. Naauwkeuriger onderzoekingen hieromtrent zijn eerst door de thermoëlectrische zuil mogelijk geworden, en MELLONI heeft met behulp van deze eene menigte hoogst belangrijke onderzoekingen over den doorgang der warmtestralen door verschillende ligchamen in het werk gesteld. Die ligchamen, door welke warmtestralen worden teruggehouden, gelijk de lichtstralen door ondoorzigtige ligchamen, noemt MELLONI *athermische* ligchamen, en daarentegen die, welke zich tegenover de warmtestralen verhouden gelijk de doorzigtige ligchamen tot de lichtstralen, noemt hij *diathermische* ligchamen. De lucht is derhalve een diathermisch ligchaam, en wij zullen beneden zien, dat ook zeer veel vaste en druipend vloeibare ligchamen, ofschoon in zeer ongelijke mate, diathermisch zijn.

De proeven werden op de navolgende wijze in het werk gesteld. De warmtebron, b. v. eene kleine olielamp, of een met heet water gevulde holle teerling van koperblik, waarvan eene zijde met roet besmeerd is, om de warmte beter te kunnen uitstralen, werd zoodanig geplaatst, dat zij eene afwijking der naald van 30° voortbragt. Wanneer nu de warmtestralen door eene bij *r*, fig. 505, gestelde plaat van het te onderzoeken ligchaam worden opgevangen, dan onderging de naald eene nu eens meer, en dan weder minder belangrijke afwijking, en hieruit bleek, dat even dikke en even doorzigtige platen van verschillende ligchamen niet dezelfde hoeveelheid stralende warmte doorlaten. Indien b.v. de vrije straling der warmtebron eene afwijking van 30° bewerkt, dan zal de naald tot 28° teruggaan, als men bij *r* eene plaat van klipzout, ter dikte van 3 à 4 millimeters plaatst, terwijl eene even dikke plaat van kwartz de naald tot 15° à 16° doet teruggaan. Het klipzout laat dus de warmtestralen veel beter door, dan het bergkristal. Onderscheidene minder doorzigtige ligchamen laten zelfs de warmtestralen beter door dan anderen, die geheel doorzigtig zijn. Terwijl b. v. door eene volkomen doorzigtige

plaat van aluin de afwijking der naald van 30° tot op 3 à 4° wordt teruggebragt, brengt eene veel dikkere plaat van topaas de naald slechts tot 14° à 15° terug. Ja, volkomen ondoorzigtige ligchamen, zoo als zwart glas en zwart glimmer, laten nog tamelijk veel warmtestralen door.

Zoo men de warmtestralen, die door eene glazen plaat zijn heengegaan, op eene aluimplaat laat vallen, dan worden zij volkomen geabsorbeerd, terwijl toch de aluinplaat bijkans al de warmtestralen laat doorgaan, die vooraf door eene plaat van citroenzuur zijn heengegaan. Dit verschijnsel heeft de grootste overeenkomst met den doorgang van het licht door gekleurde middenstoffen. Immers, gelijk men weet, worden lichtstralen, die door een groen glas zijn heengegaan, door andere groene glazen doorgelaten, maar worden opgeslorpt, als zij op een rood glas vallen. De verschillen tusschen de warmtestralen zijn derhalve geheel overeenkomstig met de verschillen der kleuren bij het licht.

Overeenkomstige verhoudingen zijn ook waargenomen met betrekking tot het uitstralings- en opslorpingsvermogen van de ligchamen.

De warmtestralen kunnen gebroken worden even als de lichtstralen, zoo als men dit met behulp van een prisma van klipzout kan aantoonen. Ook heeft men bij de warmtestralen polarisatie verschijnselen aangetoond.

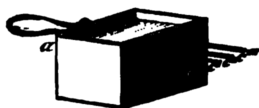
Verbreiding der warmte door geleiding. Niet alleen door straling, 104
maar ook door onmiddelijke aanraking kan de warmte van het eene ligchaam op het andere overgaan, en zich dan door zijne geheele massa verspreiden. Ten opzigte van de gemakkelijkheid echter, waarmede de warmte in een ligchaam overgaat en zich door zijne massa verbreidt, bestaat een groot verschil tusschen de ligchamen. In vele ligchamen verbreidt de warmte zich bijzonder gemakkelijk, terwijl zij in andere minder gemakkelijk van het eene deeltje op het andere overgaat. Men kan eenen zwavelstok, die aan het eene einde brandt, nog aan het andere einde tusschen de vingers houden, zonder eenige verhooging van temperatuur te gevoelen; de hooge temperatuur van het brandende hout wordt dus niet zoo gemakkelijk aan de overige massa van het hout medegedeeld, het hout is een *slechte geleider der warmte.*

Een even lange metaaldraad echter, aan het eene einde gloeijend gemaakt zijnde, kan aan het andere einde niet worden aangeraakt, zonder dat men zich brandt; de warmte verbreidt zich derhalve gemakkelijk van uit het gloeijende einde door het geheele staafje, het metaal is dus een *goede geleider der warmte.*

Een stuk ijzer en een stuk van eenen wollen doek, die gedurende eenen winternacht aan de lucht zijn blootgesteld geweest, hebben voorzeker beide eene even lage temperatuur, en toch is het ijzer op het gevoel kouder, omdat het veel

sneller dan de wollen doek de warmte aan de hand onttrekt. Om aan te toonen, hoe ongelijk het vermogen van onderscheidene ligchamen is, om de warmte te geleiden, kan men den in fig. 505 afgebeelden, door INGENHOUSZ aangegeven, toestel aanwenden. In den eenen zijwand van eene kast van blik, zijn onderscheidene staafjes gestoken, vervaardigd uit de stoffen, welke men wil onderzoeken, die allen denzelfden diameter moeten bezitten, en allen met eene laag was bedekt zijn. Wanneer men nu kokend water of olie in de kast giet, dan zal de warmte zich meer of minder ver in de staafjes verbreiden, en het bekleedsel van was doen smelten. Stellen wij, dat het eene staafje van koper zij, een ander van ijzer, een derde van lood, een vierde van glas, en het laatste van hout, dan zal de laag was van het koperen staafje reeds volkomen tot aan het einde gesmolten zijn, terwijl de smelting bij al de andere staafjes nog niet zoo ver is gevorderd; het koper is dus van deze ligchamen de beste warmtegeleider. Bij het ijzeren staafje gaat de smelting sneller voort dan bij het staafje van lood, en terwijl het was op de koperen staaf reeds geheel is weggesmolten, is de laag was op het glazen staafje slechts een klein eind ver gesmolten, en aan het hout kan men naauwelijks een begin van smelting waarnemen; van deze ligchamen is dus het hout inderdaad de slechtste warmtegeleider.

Fig. 506.



Onder alle ligchamen, zijn de metalen de beste, asch, zijde, haar, stroo, wol, enz., over het algemeen de meest losse ligchamen, de slechtste warmtegeleiders.

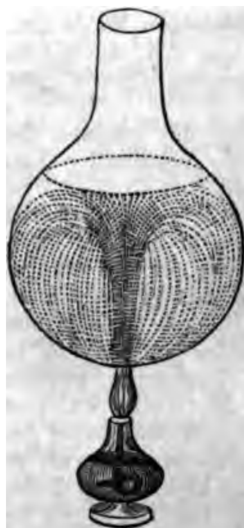
In het practische leven maken wij van het goede of slechte vermogen ter geleiding der warmte van verschillende ligchamen, menigvuldige toepassingen. Men omringt voorwerpen, die men tegen verkoeling wil beschutten, met slechte warmtegeleiders. Zoo omwikkelt men des winters boomen en struiken met stroo, om ze voor het bevriezen te beschutten; zoo houden onze kleêren ons warm, omdat zij uit slechte warmtegeleiders zijn vervaardigd. In een koperen vat kan men, onder overigens gelijke omstandigheden, eene vloeistof veel eerder aan het koken brengen, dan in een porceleinen vat, welks wanden even dik zijn.

105 **Het warmtegeleidings-vermogen der vochten en gazen.** In de vloeistoffen wordt de warmte meestal voortgeleid door stroomen, die daardoor ontstaan, dat de verwarmde deeltjes, uit hoofde van hunne mindere digtheid altijd omhoog rijzen.

Deze stroomen kan men gemakkelijk zigtbaar maken, als men zaagsel werpt in een glazen vat met water, en dit dan van onder langzamerhand verwarmt, fig. 506. Men ziet dan, dat de stroom in het midden omhoog, en ter zijde benedenwaarts gerigt is. Wanneer men eene vloeistof van boven af verwarmt,

zoodat het hydrostatische evenwigt niet gestoord wordt, dan kan de warmte zich slechts op dezelfde wijze door de massa van het vocht verbreiden, als dit bij de vaste ligchamen het geval is, namelijk door geleiding; daar de warmte van de eene laag op de andere overgaat. In zulke gevallen verbreidt de warmte zich echter slechts zeer langzaam door de massa van het vocht, en de vochten zijn dus zeer slechte warmtegeleiders.

Fig. 507.



Om zich van het slechte geleidingsvermogen der vochten te overtuigen, behoeft men slechts den bol van eenen thermometer in koud water te dompelen en dan heete olie op het water te gieten. Men zal dan zelfs in de bovenste lagen van het water ter naauwer nood eene temperatuursverhooging kunnen waarnemen.

Despretz heeft het geleidingsvermogen van het water bepaald, door waterzuilen van 1 el hoogte en 0,2 tot 0,4 el diameter van boven af door bestendige vernieuwing van heet water te verwarmen. Het duurde ongeveer 30 uren, eer de temperatuur der waterzuilen op alle plaatsen standvastig en gelijk was. Uit deze proeven volgt, dat het vermogen tot geleiding der warmte bij het water ongeveer 96 maal kleiner is, dan bij het koper.

De lucht en de gazen in het algemeen zijn eveneens zeer slechte geleiders van de warmte, doch men kan hun vermogen tot geleiding der warmte niet bepalen door middel van thermometers, die men in onderscheidene lagen der te onderzoeken luchtmassa zou willen plaatsen, uit hoofde van de verspreiding der warmte door stralen.

Dat echter de gazen in het algemeen en de lucht in het bijzonder slechte geleiders zijn van de warmte, blijkt reeds daaruit, dat ligchamen, die aan alle zijden door luchtlagen zijn omgeven, slechts zeer langzaam kunnen worden verwarmd en verkoeld, ten minste als de wisseling der luchtlagen verhinderd wordt. Hieruit laat zich de invloed verklaren van de dubbele vensters en dubbele deuren op het warm houden van kamers. Het slechte geleidingsvermogen van losse ligchamen, zoo als stroo, wol, enz. is grootendeels daarvan afhankelijk, dat de tallooze tusschenruimten met lucht zijn gevuld. Zoodanige ligchamen, van welke men zegt, dat zij warm houden, zoo als b. v. onze kleêren, stroo enz., zijn niet zelve warm, maar hunne werking berust enkel op hun slecht warmtegeleidingsvermogen; want als men ijs met zoodanige ligchamen omwikkelt, dan verhinderen zij dit te smelten, door het afweren van de uitwendige warmte.

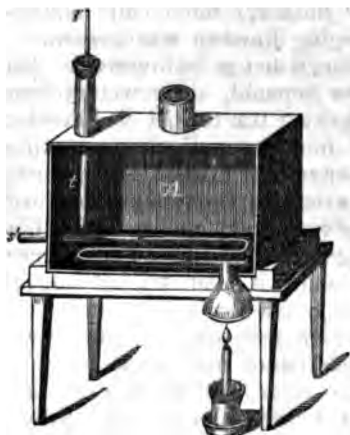
Verschillende bronnen der warmte.

106 **Ontwikkeling van warmte door scheikundige verbindingen.** Na de zon, stellen de scheikundige verbindingen voor ons de rijkste warmtebronnen daar. Bijna ieder scheikundig droces gaat vergezeld met ontwikkeling van warmte.

Van bijzonder belang is de ontwikkeling der warmte, die door verbranding, en dus door eene snelle verbinding van het ligchaam met zuurstof, wordt ontwikkeld.

Ter bepaling van de warmte, die door verbranding wordt ontwikkeld, bediende RUMFORD zich van den in fig. 509 afgebeelden toestel: de kast A is gevuld met water, en een slangsgewijze buis gaat er door heen. De ingang in deze buis is een trechter, onder welken de te verbranden ligchamen worden geplaatst. Met olie en met alcohol kan men deze proef gemakkelijk nemen; men vult er namelijk eene kleine lamp mede, die men bij het begin en bij het einde der proef weegt, om de hoeveelheid van het verbrande materiaal te kunnen bepalen. De vlam en de producten der verbranding gaan door de buis heen, en verwarmen het water in den toestel. Uit de verhooging van temperatuur, welke het water met den geheelen toestel aanbiedt, kan men dan de hoeveelheid warmte berekenen, die door de verbranding ontstaan is; doch men moet hierbij niet verzuimen om acht te geven op de warmte, waarmede de gasvormige producten der verbranding uit de buis treden.

Fig. 508.



Uit zoodanige onderzoekingen is gebleken, dat er door de warmte, die ontwikkeld wordt bij

De verbranding van 1 wigtje	de temperatuur van 1 pond water kan worden verhoogd met
Waterstofgas	36°,40
Olievormend gas	12°,20
Absolute alcohol	6°,96
Kool	7°,29
Was	10°,50
Raapolie	9°,31
Talk	8°,37

Dierlijke warmte. De temperatuur der bloedwarmte van alle 107 dieren is bijkans altijd verschillend van de temperatuur der middenstof, in welke zij leven. De dieren in de poolstreken zijn altijd warmer dan het ijs, waarop zij leven, terwijl zij in de keerkringslanden kouder zijn, dan de heete lucht, die zij inademen. De vogels hebben nooit de temperatuur der lucht, en de visschen niet de temperatuur van het water, die hen omringen; het dierlijke ligchaam bezit derhalve zijne eigene warmte, welke het dan ook gestadig moet kunnen voortbrengen.

De inwendige warmte van den mensch schijnt dezelfde te zijn voor alle organen, en wel die warmte, tot welke een kleine thermometer rijst, als men den bol onder de tong brengt, en den mond sluit tot dat de thermometer niet meer rijst; deze temperatuur is 37° C. Leeftijd en klimaat, gezondheid en ziekte brengen in deze temperatuur slechts weinig verandering te weeg.

De bloedwarmte der vogels is grooter, dan bij alle andere dieren, zij bedraagt gemiddeld 42°; de bloedwarmte der dieren komt met die van den mensch ten naasten bij overeen. Bij de vogels en zoogdieren is de bloedwarmte onafhankelijk van de temperatuur der omringende lucht, maar bij de amphibiën, de visschen enz. is de temperatuur van het ligchaam slechts weinig verschillend vande temperatuur der lucht, die hen omgeeft.

Wat is nu de bron der dierlijke warmte? De lucht, die wij inademen, wordt op dezelfde wijze veranderd als de lucht, die voor de verbranding heeft gediend; de zuurstof der lucht wordt veranderd in koolstofzuur, en er grijpt dus in het organisme eene volkomene verbranding plaats. Na de ontdekking van LAVOISIER was de bron der dierlijke warmte geen raadsel meer.

Door de spijzen wordt aan het ligchaam de koolstof toegevoerd, die zich in het ligchaam verbindt met de zuurstof der ingeademde lucht. Door de oxydatie der koolstof in het dierlijke organisme, moet nu noodwendig dezelfde hoeveelheid warmte worden voortgebragt, alsof de koolstof door snelle verbranding in koolstofzuur ware omgezet.

In eene koude lucht verliezen de mensch en het dier altijd meer warmte, dan in eene warme lucht; doch, daar de bloedwarmte bij de zoogdieren en de vogels onafhankelijk is van de temperatuur der lucht, is het duidelijk, dat er in het ligchaam meer warmte moet worden voortgebragt, als er op ieder oogenblik eene grootere hoeveelheid warmte aan onttrokken wordt, als het dier dus in eene koude lucht leeft, dan wanneer het, in eene warme lucht levende, slechts weinig warmte naar buiten afgeeft. Om evenwel in gelijke tijden meer warmte te kunnen voortbrengen, moet er aan het ligchaam meer koolstof worden toegevoerd, door wier oxydatie de warmte wordt voortgebragt, even zoo als men ook bij koud weder meer brandstof in den haard moet verbranden, ten einde eene kamer op eene bepaalde temperatuur te houden, dan bij eene geringe

koude. Hieruit laat zich nu verklaren, waarom de bewoners van noordelijke streken meer spijzen, en vooral meer koolstofhoudende spijzen, moeten gebruiken, dan de bewoners der heete luchtstreken.

Ontwikkeling van warmte door werktuigelijke middelen. Dat er door de zamenpersing der lucht warmte vrij wordt, is reeds boven vermeld. Door snelle zamenpersing der lucht kan eene zeer belangrijke verhooging van temperatuur worden te weeg gebragt; en hierop is de pneumatische vuurtoestel gegrond. De vochten, welke slechts zeer weinig kunnen worden zamengeperst, bieden ook eene onbelangrijke verhooging van temperatuur aan. Vaste ligchamen worden door zamenpersing vaak aanmerkelijk verhit, zoo als men dit kan opmerken bij het hameren der metalen en het slaan van munten. Of de temperatuursverhooging van vaste ligchamen door compressie, daaraan moet worden toegeschreven, dat met de grootere digtheid dier ligchamen ook hunne soortelijke warmte vermindert, en dat dus een gedeelte der warmte, die als soortelijke warmte in hen bevat was, nu bij hunne compressie als voelbare warmte uittreedt, is nog niet met zekerheid beslist.

Welke belangrijke verhoogingen van temperatuur door wrijving kunnen worden voortgebragt, is algemeen bekend. Een ijzeren wagenrad kan vaak zoodanig worden verwarmd, dat het sist, wanneer het met water in aanraking komt; droog hout kan men door wrijving doen ontbranden, ja zelfs eenen ijzeren nagel kan men aan eenen ronddraaijenden slijpsteen van 7½ voet diameter witgloeijend maken. Tot heden is men nog niet in staat, om eene voldoende verklaring van deze verschijnselen te geven.

108 **Theoretische beschouwingen omtrent de warmte.** Wij hebben nu de belangrijkste wetten van de verschijnselen der warmte leeren kennen, zonder dat wij de vraag hebben behandeld, wat dan toch eigenlijk de *warmte* is. Ten dezen opzigte is dus de leer van de warmte even zoo behandeld, als het eerste gedeelte der leer van het licht, waarbij ook de empirische wetten der spiegeling en breking zijn ontwikkeld, zonder verder naar het wezen van het licht te vragen. Het ontbreekt ons echter tot heden nog aan eene theorie, uit welke wij de verschijnselen der warmte, niet alleen ten opzigte der wijze waarop zij zich voordoen, maar ook ten opzigte der grootte, zoo volledig kunnen afleiden, als de verschijnselen van het licht uit de theorie van de luchtgolven.

Doorgaans stelt men zich de warmte voor als eene onweegbare stof, die de ligchamen doordringt. Deze voorstelling laat zich met vele verschijnselen, zoo als b. v. de binding van warmte en de warmtecapaciteit zeer goed rijmen, zij geeft ons voor de verschijnselen een zeer goed beeld, ja deze uitdrukkingen hebben hun ontstaan ook aan deze meening te danken. Al zijn echter ook de verschijnselen der warmte

capaciteit, der latente warmte en de geleiding der warmte zeer goed met de voorstelling van eene *warmtestof* te vereenigen, dan is het toch van den anderen kant hoogst onwaarschijnlijk, dat er zoodanige onweegbare stoffen bestaan, en deze zullen in het geheel wel uit de natuurkunde moeten verdwijnen, zoo als dit met het licht reeds het geval is. In de leer van de warmte is de groote schrede, die aan de invoering der vibratie-theorie bij het licht beantwoordt, wel het eerst te verwachten.

Eenige verschijnselen zijn in het geheel niet overeen te brengen met de aanname van eene warmtestof; de stralende warmte en de voortbrenging van warmte door wrijving.

De wetten der stralende warmte komen zoo zeer overeen met die der lichtstralen, dat men genoopt wordt tot de gedachte, om ook de stralende warmte toe te schrijven aan de vibratie van eenen aether. Doch zoo de stralende warmte zich voortplant door vibratien van den aether, dan zou de voelbare warmte door vibratien van de stoffelijke deelen der ligchamen zelve moeten worden voortgebragt.

Het is hoogst waarschijnlijk, dat de verschijnselen der warmte inderdaad van zoodanige trillingen afhankelijk zijn, ofschoon wij nog niet in staat zijn, om al de verschijnselen der warmte uit deze hypothesis slechts eenigzins voldoende af te leiden, en wij de voorstelling eener warmtestof, tot gemakkelijker begrip, vooreerst nog niet wel kunnen missen.

Ter verklaring van de verschijnselen der warmte uit vibratien, zou men moeten aannemen, dat de temperatuur der ligchamen toeneemt met de slingerwijdte: en hieruit ware dan ook de uitzetting door de warmte te verklaren.

Bij den overgang van den vasten toestand in den druipend-vloeibaren, en van dezen in den gasvormigen, wordt het aantal trillingen vermeerderd. Bij eene gelijke grootte van beweging is slechts dan eene vergrooting van het aantal slingeringen mogelijk, wanneer de slingerwijdte, de amplitudo, kleiner wordt, en hieruit kan men de binding der warmte verklaren.

ACHTSTE AFDEELING.

METEOROLOGIE.

EERSTE HOOFDSTUK.

Verdeeling der warmte op de oppervlakte der aarde.

109 De verwarming van de oppervlakte der aarde en van den dampkring, door welke alleen het bestaan van het planten- en dierenrijk mogelijk is, hebben wij alleen te danken aan de stralen der zon, die dus te beschouwen is als de bron van alle leven op onze planeet. — Daar, waar de middagzon loodregt op het hoofd der bewoners schijnt, waar hare stralen onder regte hoeken op de oppervlakte der aarde vallen, daar ontwikkelt zich eene weelderige vegetatie, als ten minste eene tweede voorwaarde van haar bestaan, de vochtigheid namelijk, niet ontbreekt. Waar echter de zonnestralen te schuins vallen, om eene merkbare werking te weeg te kunnen brengen, daar verstijft de natuur in eeuwig ijs, daar houdt al het leven van planten en dieren op.

Ten einde de verdeeling der warmte op de oppervlakte der aarde in het algemeen te overzien, moeten wij het eerst de gevolgen van de dagelijksche en jaarlijksche beweging der aarde onderzoeken.

Ten gevolge van de jaarlijksche beweging der aarde, verandert onophoudelijk de schijnbare stand der zon aan het hemelgewelf; de weg, dien zij aan het hemelgewelf in een jaar doorloopt, gaat door twaalf sterrenbeelden heen, die den *dierenring* daarstellen.

Indien wij ons het hemelgewelf voorstellen als eenen grooten hollen bol dan stelt de baan der zon op dezen hollen kogel eenen grooten cirkel daar, dien men, gelijk bekend is, *zonneweg*, of *ecliptica* noemt. Deze ecliptica valt niet zamen met den aequator van den hemel, maar snijdt dien onder eenen hoek van 23° 28′.

Tweemaal in het jaar, op den 21 Maart en den 21 September gaat de zon voorbij den aequator. Van Maart tot aan September is zij op de noordelijke, van September tot Maart op de zuidelijke helft van den bol; op den 21 Junij bereikt zij haar noordelijk, op den 21 December haar zuidelijk keerpunt, zij staat op den 21 Junij 23°28′ ten noorden, en op den 21 December 23°28′ ten zuiden van den aequator.

De rigting van de as onzer aarde valt zamen met die der as van den hemel, het vlak van den aequator der aarde met

dat van den hemel. Wanneer dus de zon regt boven den aequator staat, dan vallen hare stralen op elke plaats van den aequator der aarde op het middaguur regthoekig op de oppervlakte der aarde, terwijl zij langs de beide polen der aarde heenstrijken, en op de streken welke zeer digt bij de polen liggen onder eenen zeer scherpen hoek vallen.

Denken wij dat er eene lijn, evenwijdig met den aequator, 23°28′ ten noorden, en even zoo ver van denzelven ten zuiden, getrokken zij op de oppervlakte der aarde, dan is de eerste de *keerkring van den kreeft*, en de tweede de *keerkring van den steenbok*. Al de plaatsen, die op deze keerkringen liggen, worden eenmaal in het jaar regthoekig door de zonnestralen getroffen, en wel is dit voor den keerkring van den kreeft het geval op den 21 Junij, voor dien van den steenbok op den 21 December. De geheele streek der aarde, die tusschen deze beide keerkringen gelegen is, wordt de *heete luchtstreek* genaamd, omdat de zonnestralen, die hier slechts weinig schuins opvallen, hier de sterkste werkingen kunnen uitoefenen.

Op den aequator is de warmte gedurende het geheele jaar tamelijk gelijkmatig verdeeld, daar immers de zonnestralen tweemaal in het jaar regthoekig op de aarde treffen, en in de tusschentijden ook niet zeer schuins vallen.

Hoe meer men tot de keerkringen nadert, des te merkbaarder worden de verschillen der temperatuur op de verschillende tijden van het jaar, en des te duidelijker is het jaargetijde gekenmerkt. Op de keerkringen vallen de zonnestralen *slechts eenmaal* in het jaar regthoekig op de oppervlakte der aarde, en *eenmaal* maken zij eenen hoek van 47° met de rigting van het paslood; zij vallen derhalve dan reeds vrij schuins, en de temperaturen van het warmste en koudste jaargetijde, die na een half jaar op elkander volgen, verschillen reeds vrij aanmerkelijk van elkander.

Aan beide zijden der heete luchtstreek, tusschen de keerkringen en de poolcirkels (de poolcirkels zijn die evenwijdige cirkels, op welke de dag juist 24 uren duurt, en die 66°32′ ten noorden en ten zuiden van den aequator der aarde liggen), zijn de noordelijke en zuidelijke *gematigde luchtstreken* gelegen; de vier jaargetijden verschillen hier het meest merkbaar van elkander. Over het algemeen vermindert natuurlijk de warmte met den afstand van den aequator der aarde.

Rondom de beide polen tot aan de poolcirkels zijn de noordelijke en de zuidelijke *koude luchtstreken* gelegen.

Ten gevolge van de omdraaijing der aarde om hare as, neemt de zon deel aan de schijnbare beweging der gesternten. Een gevolg van deze dagelijksche beweging, is, gelijk men weet, de afwisseling tusschen *dag* en *nacht*.

Gedurende den dag alleen wordt de oppervlakte der aarde door de zonnestralen verwarmd; na zonsondergang straalt zij warmte naar de ruimte van den hemel uit, zonder dat dit ver-

lies vergoed wordt, en dus moet de oppervlakte der aarde gedurende den nacht verkoelen.

Onder den aequator zijn de dag en de nacht gedurende het geheele jaar gelijk; elke dag en iedere nacht duurt twaalf uren; maar zoodra men zich van den aequator verwijdert, verschilt de lengte van den dag naar het jaargetijde, en dit verschil wordt des te meer in het oogloopend, als men tot de polen nadert. De navolgende tabel geeft den duur van den langsten dag voor verschillende geographische breedten:

Poolshoogte	Duur van den langsten dag.
0	12 uren.
16°44′	13 „
30°48′	14 „
49°22′	16 „
63°23′	20 „
66°32′	24 „
67°23′	1 maand.
73°39′	3 „
90°	6 „

Onder den aequator kan dus de wisseling van de lengten der dagen geenen invloed uitoefenen op de warmte in verschillende jaargetijden. Dewijl zelfs onder de keerkringen de ongelijkheid der lengten van de dagen nog niet zeer aanmerkelijk is, kan dus tusschen de keerkringen over het algemeen de wisseling der lengten van de dagen de verschillen in temperatuur van het warme en koude jaargetijde niet veel vergrooten of verkleinen; doch in eenen zeer hoogen graad is dit het geval op hooge breedten.

In den zomer, wanneer de zonnestralen minder schuins opvallen, verwijlt de zon, op hoogere breedten, ook langer boven den horizont. De langere duur der inwerking vervangt, wat de zonnestralen aan intensiteit verliezen, en hierdoor komt het, dat het zelfs op plaatsen, die zeer ver van den aequator verwijderd liggen, in den zomer zeer warm kan worden. (te *Petersburg* rijst de thermometer op warme zomerdagen soms tot op 30°); in den winter daarentegen, als de onder scherpe hoeken opvallende zonnestralen slechts weinig kunnen werken, is de dag bovendien zeer kort, en de nacht, gedurende welke de aarde hare warmte uitstraalt, buitengewoon lang, en derhalve moet de temperatuur in den winter zeer laag dalen, het verschil tusschen de temperatuur van den zomer en den winter zal derhalve over het algemeen des te grooter zijn, hoe verder men zich van den aequator verwijdert.

Te *Bogota*, hetwelk 4°35′ ten noorden van den aequator ligt, bedraagt het verschil in temperatuur van de warmste en koudste maand slechts 2°; in *Mexico* (19° 25′ N. B.) bedraagt dit verschil 8°; voor *Parijs* (48°50′ N. B,) 27°, voor *Petersburg* (59°56′ N. B.) 32°.

dank.

Uit de bovenstaande beschouwingen volgt derhalve:

1° Dat de warmte van den aequator naar de polen toe moet afnemen;

2° Dat in de nabijheid van den aequator de warmte gedurende het geheele jaar tamelijk gelijkmatig verbreid is, en dat daar onze jaargetijden niet bestaan.

3° Dat de jaargetijden met den afstand van den aequator zich altijd duidelijker voordoen, en te gelijk het verschil tusschen de temperatuur van den zomer en winter altijd aanmerkelijker wordt.

4° Dat zelfs in de nabijheid der poolcirkels de zomer nog zeer warm kan zijn.

Dit alles vinden wij door de ondervinding bevestigd, en toch leert eene zoodanige beschouwing ons de verdeeling der warmte op de aarde slechts in *zeer* grove trekken kennen; het is onmogelijk, om uit de geographische breedte eener plaats een ook slechts eenigzins zeker besluit te trekken tot de verhouding van zijn klimaat.

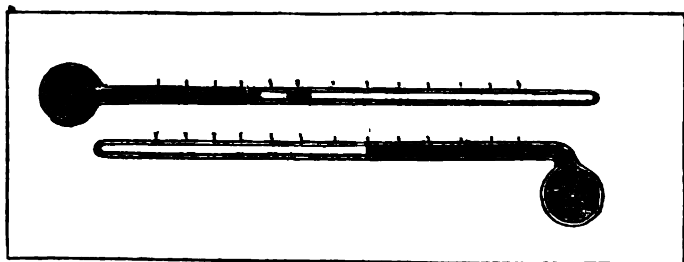
Zoo de geheele oppervlakte der aarde met water bedekt ware, of zoo zij ook enkel werd daargesteld door vast- en overal vlak land, hetwelk, overal van dezelfde gesteldheid zijnde, op alle plaatsen hetzelfde vermogen bezat, om warmtestralen op te slorpen en weder uit te stralen, dan zou de temperatuur van eenige plaatsen nog enkel van hare geographische breedte afhangen, en alle plaatsen die op denzelfden breedtegraad gelegen waren, zouden hetzelfde klimaat bezitten. Nu wordt echter de werking, welke de zonnestralen te weeg kunnen brengen, door velerlei oorzaken gewijzigd, en het klimaat van eene streek is niet enkel afhankelijk van de rigting der zonnestralen, maar ook van de omstandigheden, onder welke zij werken; het is afhankelijk van de gesteldheid van het land en der zee, van de rigting en de hoogte van bergketens, van de rigting van heerschende winden, enz. Hiervan komt het, dat plaatsen, op dezelfde geographische breedte gelegen, vaak een zeer verschillend klimaat hebben, en men kan hieruit gemakkelijk begrijpen, dat het niet mogelijk is, om uit theoretische beschouwingen het klimaat af te leiden; de verdeeling der warmte op de aarde kan enkel door talrijke, gedurende jaren voortgezette, waarnemingen met zekerheid worden nagegaan. HUMBOLDT is de eerste, die hier den weg der inductie, de eenige ware voor alle natuurwetenschappen, met goed gevolg heeft bewandeld. Op zijne reize op de beide helften van onzen aardbol heeft hij met onvermoeiden ijver daadzaken bijeenverzameld, en heeft door eene vernuftige combinatie van deze daadzaken het eerst eene wetenschappelijke meteorologie gegrondvest.

Waarneming met den thermometer. Ten einde de temperatuur 110
van de lucht op eene plaats met naauwkeurigheid te kunnen waarnemen, moet men eenen goeden thermometer aan de noord-

zijde van een gebouw in de vrije lucht, op 3 à 4 palmen afstand van den muur zoodanig plaatsen, dat hij niet door de zonnestralen kan worden getroffen; en ook mag er geen witte muur in de nabijheid zijn, daar men zou kunnen vreezen, dat door deze de warmtestralen naar den thermometer zouden kunnen teruggekaatst worden. Indien de thermometer door den regen nat geworden is, dan moet den bol vijf minuten voor dat men de hoogte der kwikzuil gaat aflezen, voorzigtig afdroogen, want de aanhangende waterdruppels zouden anders door hunne verdamping de temperatuur van het kwikzilver in den bol lager doen worden.

Het is in de meteorologie dikwijls van het hoogste belang, om de hoogste en de laagste temperatuur te kennen, die gedurende eenigen tijd geheerscht heeft, zonder dat men juist verpligt is, om den thermometer waar te nemen op de oogenblikken, op welke het maximum of minimum bestaat. Dit doel bereikt men nu door den in fig. 509 afgebeelden *thermo-*

Fig. 509.



metrograaph. Deze bestaat uit twee thermometers, wier buizen horizontaal zijn gelegen, en van welke de eene een kwikzilverthermometer, de andere een wijngeestthermometer is. In de buis van den kwikzilverthermometer ligt, een stalen stiftje, dat door de kwikzilverkolom wordt voortgeschoven, als het kwik in den bol van dezen thermometer zich uitzet; terwijl, wanneer de thermometer weder bekoelt, het kwikzilver zich weder terugtrekt, maar het staafje liggen blijft op die plaats, tot welke het bij den hoogsten stand van den thermometer geschoven was. Een zoodanige thermometer geeft dus het maximum der temperatuur aan, die in eene bepaalde tijdruimte heeft geheerscht.

In de buis van den wijngeestthermometer ligt een zeer dun glazen staafje, dat aan zijne beide einden eenigzins dikker is, gelijk men duidelijk ziet in fig. 509. Het glazen staafje is gelegen in het zuiltje van wijngeest, en als de wijngeest in den bol verkoelt, en het zuiltje in de buis zich teruggetrokken heeft tot aan het eerste knopje van het glazen staafje, dan zal, bij het verdere dalen der temperatuur, het glazen staafje

ten gevolge der adhaesie tusschen wijngeest en glas, met den nog verder teruggaanden wijngeest worden medegesleept. Wordt echter de vloeistof in den bol weder warmer, dan gaat de vloeistof, bij het rijzen van den thermometer, langs het staafje heen, zonder het mede te voeren. Het staafje, hetwelk van donker gekleurd glas moet zijn, om duidelijk gezien te kunnen worden, blijft dus op die plaats liggen, die beantwoordt aan het minimum van temperatuur, welke in eenen bepaalden tijd heerschte.

Wanneer de bol van den eenen thermometer naar de regterzijde gekeerd is, dan is die van den anderen naar de linkerzijde geplaatst, en als men den geheelen toestel een weinig op zijde houdt, en er ligt aan stoot, dan valt het stalen staafje door zijn eigen gewigt tot op de kwikzilverkolom, en het glazen staafje tot aan het einde der kolom van wijngeest. Indien men het zoodanig ingerigte werktuig laat staan, dan zal het stalen staafje telkens bij het rijzen der temperatuur worden voortgeschoven, en het glazen staafje bij het dalen der temperatuur teruggetrokken worden.

Dit werktuig is bijzonder geschikt, om het maximum en minimum der dagelijksche temperatuur aan te geven. Wanneer men het b.v. elken avond in orde brengt, dan kan men er den volgenden avond op aflezen, wat de hoogste en wat de laagste temperatuur in de laatste 24 uren is geweest.

Dagelijksche veranderingen der temperatuur. Ten einde al de ver- 111
anderingen van den warmtegraad des dampkrings gedurende 24 uren naauwkeurig te kunnen nagaan, zou men den thermometer met zeer korte tusschenpoozen, b.v. van uur tot uur, moeten waarnemen. Indien zoodanige waarnemingen gedurende langen tijd moesten worden voortgezet, dan is het duidelijk, dat ze niet door eene en dezelfde persoon in het werk konden worden gesteld, en dat er zich minstens eenigen voor dit doel zouden moeten vereenigen; en in allen gevalle gaat het zeer moeijelijk, om op deze wijze eene menigte van waarnemingen te doen.

Uit de vergelijking van zulke waarnemingen is nu gebleken, dat het *minimum* der temperatuur kort vóór zonsopgang plaats grijpt, en het *maximum* eenige uren na den middag, en wel in den zomer later en in den winter vroeger.

Dit laat zich gereedelijk verklaren. Vóór den middag, terwijl de zon steeds hooger en hooger rijst, ontvangt de oppervlakte der aarde meer warmte, dan zij uitstraalt, en hare temperatuur en de temperatuur van den dampkring moeten derhalve steeds hooger worden. Dit blijft nu ook nog een weinig na den middag voortduren. Wanneer de zon echter lager daalt, en hare stralen minder werkzaam worden, dan straalt de verwarmde aarde meer warmte uit, dan er door de zonnestralen kan worden vervangen; deze verkoeling duurt natuurlijk na zonsondergang nog voort, totdat het morgenrood den terugkeer der zon aankondigt.

Niet altijd zullen de dagelijksche verschillen van den thermometer dezen normalen gang houden, omdat deze vaak door ongewone invloeden, zooals b. v. het omslaan van het weder, wordt gestoord. Ten einde de wet der dagelijksche veranderingen van de warmte met zekerheid te bepalen, moet men daarom den normalen gang uit de combinatie eener menigte van waarnemingen afleiden.

Zoo men het gemiddelde uit elke 24 uren voortgezette waarneming neemt, dan verkrijgt men de *gemiddelde temperatuur* van den dag.

Daar het uiterst moeijelijk is, om, gedurende eenen langen tijd, om het uur den thermometer gade te slaan, is het voor de meteorologie van het grootste belang, om methoden uit te vinden, door welke men de gemiddelde temperatuur van den dag kan kennen, zonder dat men om het uur zijne waarnemingen behoeft te doen. Tweemaal daags moet de thermometer de gemiddelde temperatuur van den dag aangeven; het zou dus het eenvoudigst schijnen, om na te gaan, op welke uren dit het geval is, en dan enkel op deze uren den thermometer af te lezen. Deze wijze van bepaling kan echter ligt tot onjuiste resultaten leiden, omdat juist op dien tijd de stand van den thermometer het snelst verandert, en omdat men dus eene groote fout kan begaan, als men slechts iets te vroeg of te laat waarneemt. Een veel juister resultaat krijgt men, als men den thermometer op onderscheidene *gelijknamige uren*, b. v. des morgens om 4 en 10 uur, en des avonds om 4 en 10 uur waarneemt. Dit is, gelijk door BREWSTEN is aangetoond, tot op $^{1}/_{10}$ graad na naauwkeurig. Ook krijgt men een tamelijk goed resultaat, als men des morgens om 7 uur, op het middaguur en des avonds om 10 uur waarneemt, en uit deze drie waarnemingen het gemiddelde trekt.

Het gemiddelde van den in 24 uren intredenden hoogsten en laagsten stand des thermometers verschilt zoo weinig van de ware gemiddelde temperatuur, die uit om het uur verrigte waarnemingen is afgeleid, dat men de gemiddelde temperatuur van den dag het best kan waarnemen met behulp van den op bladz. 490 beschrevenen thermometrograaph.

112 **Gemiddelde temperatuur der maanden van het jaar.** Als men de gemiddelde temperatuur van al de dagen eener maand kent, behoeft men enkel de som der gemiddelde dagelijksche temperaturen door het aantal dagen te deelen, om de *gemiddelde temperatuur der maand* te verkrijgen.

Neemt men het arithmetische midden uit de van de 12 maanden van het jaar gevonden temperaturen, dan krijgt men de *gemiddelde temperatuur van het jaar.*

Om de *gemiddelde temperatuur van eene plaats* met naauwkeurigheid te bepalen, moet men het gemiddelde neme
eene zeer groote reeks van gemiddelde temperaturen
jaar. Doorgaans echter verschillen de gemiddelde

turen van het jaar slechts weinig van elkander, zoodat men de gemiddelde temperaturen van eene plaats zelfs dan reeds met tamelijke naauwkeurigheid kan bepalen, als men de temperatuur van eenige jaren kent. Voor *Parijs* waren de gemiddelde temperaturen van het jaar 1803 tot 1816 als volgt:

10,5°	10,3°	9,9°
11,1°	10,6°	9,7°
9,7°	10,5°	10,5°
11,9°	10,5°	9,6°
10,8°	9,9°	

De hoogste dezer gemiddelde temperaturen verschilt van de laagste 2,3°. Neemt men het midden uit deze 14 getallen, dan krijgt men voor de gemiddelde temperatuur van *Parijs* 10,2°, terwijl daarentegen eene reeks van 30 gemiddelde temperaturen 10,8° geeft.

Ten einde de ware gemiddelde temperatuur van eene maand te vinden, moet men de gemiddelde temperatuur dezer maand over eene reeks van jaren kennen, en hieruit het gemiddelde nemen.

De grootste warmte bestaat doorgaans in onze streken eenigen tijd na het zomersolstitium, en de grootste koude na het wintersolstitium.

Gemiddeld is Julij de *warmste* en Januarij de *koudste* maand. Indien de tijd voor de hoogste en de laagste temperatuur niet voor al de plaatsen der zelfde hemispheer naauwkeurig dezelfde is, dan wordt hun verschil ten dien opzigte enkel door locale invloeden bepaald.

Als gemiddelde kunnen wij voor de gematigde luchtstreek van het noordelijk halfrond, den 26 Julij voor den warmsten, en den 14 Januarij voor den koudsten dag houden.

Uit eene menigte waarnemingen der temperatuur blijkt, dat in de noordelijke gematigde luchtstreek de gemiddelde temperatuur van het jaar doorgaans op den 24 April en den 21 October valt; de jaarlijksche gang der warmte is derhalve in onze streken als volgt: De temperatuur rijst van het midden van Januarij af aanvankelijk langzaam, sneller in April en Mei, dan weder langzaam tot in het midden van Julij; daarop neemt zij weder af, en wel langzaam in Augustus, sneller in September en October, en bereikt in het midden van Januarij weder haar minimum. Dezen gang kan men gemakkelijk verklaren. Wanneer de zon na het wintersolstitium wederom hooger rijst, dan is deze rijzing toch zoo langzaam, en de dagen nemen nog zoo weinig in lengte toe, dat er nog geene sterke werking van de zonnestralen mogelijk is: het minimum der temperatuur van het jaar bestaat derhalve na het wintersolstitium; eene rijzing der temperatuur volgt eerst dan, wan-
...ich reeds naar het noorden heeft bewogen; ten
...an (dag- en nachtevening) gaat de zon
...t naar het noorden, en daarom

is omstreeks dezen tijd de toename van temperatuur het meest merkbaar.

Wanneer de zon haren hoogsten stand bereikt heeft, dan is de aarde nog niet zoo sterk verwarmd, dat de warmte, welke de aarde door uitstraling verliest, gelijk is aan de hoeveelheid warmte, welke zij door de zonnestralen verkrijgt; dezen toestand van evenwigt zou, zoo de zon eenen langen tijd aan het noordelijke keerkringspunt bleef stilstaan, eerst na eenigen tijd intreden. Nu gaat echter de zon na het zomersolstitium aanvankelijk slechts zeer langzaam terug, de werking der zonnestralen is dus gedurende eenigen tijd nog bijna even zoo sterk, als tijdens het zomersolstitium zelf; de temperatuur zal dus ook nog na den langsten dag, en wel tot aan het midden van Julij, rijzen, en dan weder afnemen.

Deze beschouwingen leiden ons tot de verdeeling van het jaar in vier *jaargetijden*.

Voor de meteorologie is de astronomische verdeeling, bij welke de jaargetijden door de dag en nachteveningen en de zonnestilstanden (solstitien) zijn bepaald, niet volkomen doelmatig. Het meest gepast ware het wel, om het jaar zoodanig te verdeelen, dat de warmste maand (Julij) in het midden van den zomer, de koudste maand (Januarij) in het midden van den winter viel. Dien ten gevolge zou de *winter* worden daargesteld door de maanden December, Januarij en Februarij; de lente door door Maart, April en Mei, de zomer door Junij, Julij en Augustus, en de herfst door September, October en November. In dezen zin moet men ook de jaargetijden nemen in de navolgende tabel, in welke voor een groot aantal van over de geheele aarde verspreide plaatsen de gemiddelde jaarlijksche temperatuur, de gemiddelde temperatuur der afzonderlijke jaargetijden en van de warmste en koudste maand worden aangegeven.

GEMIDDELDE TEMPERATUUR VAN 43 PLAATSEN.

Plaatsen.	Breedte.	Lengte ten Oosten en ten Westen van Parijs.	Hoogte boven de oppervlakte der zee in ellen.	Gemiddelde Temperatuur. Van het jaar.	Van den winter.	Van het voorjaar.	Van den zomer.	Van den herfst.	Van de koudste maand.	Van de warmste maand.	Getal jaren gedurende welke de waarnemingen zijn voortgezet.
Eiland Melville.	74°47′ N	113° 8′W	—	— 18,7	— 33,5	— 19,5	2,8	— 18,0	— 35,8 Feb.	5,8 Julij	1
Ustjansk	70 55 —	136 4 O	—	— 16,6	— 38,4	— 14,7	9,2	— 23,9	— 40,3 Jan.	13,7 —	1—3
Jakuzk.	62 1 —	126 47 O	117	— 9,7	— 38,9	— 8,3	17,2	— 6,6	— 40,5 Feb.	20,3 —	. . .
Nain (Labrador).	57 10 —	64 10 W	—	— 3,6	— 18,5	— 5,8	7,6	— 2,2	— 20,9 —	9,3 Aug.	3
St. Bernhard . .	45 50 —	4 45 O	4843	— 1,0	— 7,8	— 2,0	6,1	— 0,4	— 8,7 Jan.	6,8 Julij	21
Irkuzk	52 16 —	101 58 —	409	— 0,2	— 17,6	4,5	15,9	— 2,2	— 19,5 —	17,5 —	10
Noord-Kaap. . .	71 10 —	23 30 —	—	0,1	— 4,6	— 1,3	6,4	— 0,1	— 5,5 —	8,1 —	1
Kasan	55 48 —	46 47 —	58	2,2	— 14,3	2,6	17,0	2,8	— 16,5 —	18,4 —	12
Petersburg. . . .	59 56 —	27 59 —	—	3,5	— 8,4	1,7	15,7	4,7	— 10,3 —	16,9 —	25
Reikiavig (IJsl.)	64 8 —	24 16 W	—	4,0	— 1,6	2,4	12,0	3,3	— 2,1 Feb.	13,5 —	14
Christiania. . . .	59 54 —	8 25 O	—	5,4	— 3,8	4,0	15,3	5,8	— 4,8 Jan.	16,5 —	10
Königsberg . . .	54 43 —	18 10 —	—	6,2	— 3,3	5,3	15,9	6,7	— 4,2 —	17,0 —	24
Bern	46 57 —	5 6 —	585	7,8	0,9	7,7	15,8	8,5	— 2,8 —	16,6 Aug.	20
Augsburg	48 22 —	6 34 —	493	7,9	— 0,7	8,3	16,6	8,2	— 3,8 —	17,5 Julij	22
Edinburg	55 57 —	5 32 W	88	8,6	3,6	7,6	14,4	8,9	— 2,9 —	15,0 —	17
Hamburg.	53 33 —	7 38 O	—	8,6	0,3	8,0	17,0	8,8	— 1,3 —	17,5 —	19
Berlijn	52 31 —	11 3 —	39	8,6	— 0,8	8,0	17,3	8,8	— 2,4 —	18,0 —	25
				8,6	— 0,7	8,4	17,6	9,1	— 3,1 —	18,3 —	22
Tübingen	48 31 —	6 43 —	331	8,6	— 0,2	8,6	17,1	8,9	— 2,2 —	17,8 —	13
München.	48 9 —	9 14 —	526	8,9	— 0,4	9,0	17,4	9,1	— 1,5 —	18,0 —	32
Geneve.	46 12 —	3 49 —	396	9,7	1,2	9,5	17,9	10,2	— 0,4 —	18,6 —	40
Frankfort a. M.	50 7 —	6 21 —	117	9,8	1,2	9,9	18,3	10,0	— 0,4 —	18,9 —	30
Straatsburg . . .	48 35 —	5 25 —	146	9,8	1,1	10,0	18,1	10,0	— 0,4 —	18,8 —	32
Veenen	48 13 —	14 3 —	156	10,1	0,2	10,5	20,3	10,5	— 1,6 —	20,7 —	24—14

GEMIDDELDE TEMPERATUUR VAN 43 PLAATSEN.

Plaatsen.	Breedte.	Lengte ten Oosten en ten Westen van Parijs.	Hoogte boven de oppervlakte der zee in ellen.	Gemiddelde Temperatuur.							Getal jaren gedurende welke de waarnemingen zijn voortgezet.
				Van het jaar.	Van den winter.	Van het voorjaar.	Van den zomer.	Van den herfst.	Van de koudste maand.	Van de warmste maand.	
Londen.	51 31 N	2 26 W	92	10,4	4,2	9,5	17,1	10,7	3,0 Jan.	17,8 Julij	40
Parijs.	48 50 —	0 0 —	64	10,8	3,3	10,3	18,1	11,2	1,8 —	18,9 —	33
Baltimore.	39 17 —	78 58 —	. . .	11,6	0,4	10,4	23,1	12,9	— 0,6 —	24,0 —	8
Padua	45 24 —	9 32 O	49	12,5	2,8	12,1	21,9	13,0	1,8 —	22,9 —	37
Bordeaux.	44 50 —	2 55 W	—	13,9	6,1	13,4	21,7	14,4	5,0 —	22,9 —	10
Madrid.	40 25 —	6 2 —	663	14,2	5,6	14,2	23,4	13,7	. . . . . .	. . . . .	2—3
Santa-Fe-de-Bogota.	4 36 —	76 34 —	2631	15,0	15,1	15,3	15,3	14,5	14,0 Julij	16,1 Aug.	1—2
Rome.	41 54 —	10 8 —	53	15,4	8,1	14,1	22,9	16,5	7,2 Jan.	23,9 Julij	30
Quito.	0 14 S	81 5 —	2914	15,6	15,4	15,7	15,6	17,5	14,8 Julij	16,3 Mrt.	2—3
Lissabon	38 42 N	11 29 —	72	16,4	11,3	15,5	21,7	17,0	11,2 Jan.	22,3 Julij	5
Mexico	19 26 —	101 26 —	2271	16,6	13,0	18,1	19,1	16,2	12,3 —	19,7 Junij	2
Palermo	38 7 —	11 1 O	55	17,2	11,4	15,0	23,5	19,0	10,7 Feb.	24,6 Aug.	39
Algiers	36 47 —	0 43 W	—	17,8	12,4	17,2	23,6	21,4	(14,5) Mrt.	24,7 —	4
Kaap de Goede Hoop.	33 55 S	16 8 O	—	19,1	14,8	18,6	23,4	19,4	14,3 Aug.	24,1 Jan.	7—11
Las-Palmas (Canarische eiland.)	28 0 N	17 51 W	—	21,8	18,0	19,4	23,8	26,2	17,8 Jan.	29,2 Oct.	11
Calcutta	22 35 —	86 0 O	—	28,5	19,9	28,1	28,5	26,1	18,4 —	29,9 Mei	17—8
Jamaika	17 50 —	79 2 W	. . .	26,1	24,6	25,7	27,4	26,6	24,4 —	27,7 Julij	5
Batavia.	6 9 S	104 33 O	—	26,8	26,2	26,8	27,2	27,1	25,9 Junij	27,8 Jan.	1
Madras.	13 5 —	77 57 —	—	27,8	24,8	28,6	30,2	27,5	24,1 Jan.	31,3 Junij	25
Massowa (Abyssinië).	15 36 —	37 9 —	—	(31,0)	26,7	29,5	. . .	32,0	25,5 —	(33,8) Spt.	1

De getallen dezer tabel zijn slechts gemiddelden, van welke de ware temperatuur nu eens naar de eene en dan naar de andere zijde afwijkt, en zoo geven ons dus ook de gemiddelde temperaturen der warmste en koudste maand nog volstrekt niet de grenzen aan, tusschen welke de stand van den thermometer op eene en dezelfde plaats kan verschillen. Zoo komt het dan ook, dat zelfs in streken, in welke anders een warm klimaat en een zachte winter worden waargenomen, vaak eene buitengewone koude heerscht. Zoo was b. v. in het jaar 1507 de haven van Marseille geheel toegevroren, waartoe minstens eene koude van — 18° noodig was; in het jaar 1658 trok KAREL X. met zijn geheele leger en met zwaar geschut over den kleinen *Belt;* in het jaar 1709 waren de golf van Venetie, en de havens van *Marseille, Genua en Cette* toegevroren, en in 1789 daalde de thermometer te *Marseille* tot — 27°. De navolgende tabel geeft een overzigt van de hoogste en laagste temperatuur, die op onderscheidene plaatsen zijn waargenomen.

	Minimum.	Maximum.	Verschil.
Suriname	21,3°	32,3°	11,0°
Pondichery	21,6°	44,7°	23,1°
Esna (Egypte)		47,4°	
Cairo	9,1°	40,2°	31,1°
Rome	— 5,9°	38,0°	43,9°
Parys	—23,1°	38,4°	61,5°
Praag	—27,5°	35,4°	62,9°
Moscou	—38,8°	32,0°	70,8°
Fort Reliance (N. Amerika)	—56,7°		

Aanmerkelijkere afwijkingen van den normalen jaarlijkschen gang der temperatuur doen zich niet op enkele plaatsen voor, maar zijn over grootere streken verbreid; zoo was b. v. de winter van 1821 op 1822 in Europa zeer zacht, maar in December heerschte er in het geheele westelijke gedeelte van Europa eene strenge koude. Nimmer echter is eene overeenkomstige aanmerkelijke afwijking over een geheel halfrond verbreid. Doorgaans is het noordelijk halfrond in de rigting van het noorden naar het zuiden in twee helften verdeeld, op welke tegenovergestelde afwijkingen van de normale temperatuur worden waargenomen. Ongeveer in het midden van deze beide helften zijn de afwijkingen het grootst; en daar waar zij in elkander overgaan, heerscht eene gemiddelde temperatuur. Zoo was het in Februarij 1828 te *Kasan* en te *Irkuzk* zeer koud, in *Noord-Amerika* buitengewoon zacht, en Europa daarentegen bood juist het midden tusschen deze beide afwijkingen aan. In December 1829 viel het maximum der koude omstreeks *Berlijn*, te *Kasan* was deze koude nog vrij aanmerkelijk, maar

in *Noord-Amerika* heerschte een buitengemeen zacht weder; daarentegen was de koude van December 1831 tot *Amerika* bepaald.

Meestal heerschen in *Europa* en *Azie* dezelfde, en in *Amerika* de tegenovergestelde afwijkingen van den gemiddelden gang der temperatuur.

Menigmaal, ofschoon zeldzamer, loopt de grenslijn van tegenovergestelde afwijkingen van het Oosten naar het Westen.

Eene afwijking van de gemiddelde temperatuur duurt vaak eenen langen tijd in dezelfde rigting voort. In Junij 1815 tot aan December 1816 heerschte er in *Europa* eene buitengemeen lage temperatuur, hetgeen ook de oorzaak was van het misgewas in 1816; het jaar 1822 was, gelijk algemeen bekend is, een uitstekend goed wijn-jaar: de buitengewone warmte duurde toen van 1821 tot aan November 1822.

Hieruit volgt nu ook, dat de meening, dat er na eenen kouden winter een heete zomer, na een warmen winter een koude zomer moet volgen, geheel onjuist is, daar menigwerf juist het tegendeel plaats heeft, gelijk men uit de beide, boven aangevoerde, voorbeelden ziet. Zoo volgde immers ook de warme zomer van 1834 na eenen zeer zachten winter.

De afwijkingen van den gemiddelden gang der warmte zijn in den winter meestal meer in het oogloopend, dan in den zomer.

Het is na dit alles hoogst waarschijnlijk, dat steeds dezelfde hoeveelheid warmte, doch in ongelijke mate, over de oppervlakte van de aarde verdeeld is. Een koude winter is daarvan het gevolg, dat er gedurende eenen langen tijd meestal een Noordoostelijke wind heeft gewaaid; een koele zomer daarentegen is daarvan het gevolg dat de Zuid-Westelijke winden voorheerschend zijn geweest. Door deze elkander bij afwisseling verdringende luchtstroomen wordt, gelijk DOVE heeft aangetoond, de gesteldheid van het weder bepaald. Indien er na eenen kouden winter een warme zomer zou volgen, dan zouden gedurende een geheel jaar de Noord-Oostelijke winden moeten voorheerschen; en als er daarentegen na eenen zachten winter een koele zomer zou volgen, dan zouden gedurende een geheel jaar de Zuid-Westelijke winden moeten voorheerschen.

113 **Isothermische lijnen.** Tabellen, gelijk de op bladz. 495 en 496 daargestelde, bevatten vele elementen, uit welke men de verbreiding der warmte over de oppervlakte der aarde kan opmaken. Reeds dadelijk ziet men er uit, dat niet al de plaatsen, die op denzelfden breedtegraad zijn gelegen, dezelfde gemiddelde temperatuur bezitten. Zoo is b. v. de gemiddelde jaarlijksche temperatuur aan de *Noord-Kaap* — 0,1°, terwijl *Nain* op de kust van *Labrador* eene gemiddelde jaarlijksche temperatuur van — 3,6° heeft, ofschoon *Labrador* 14° zuidelijker ligt dan de *Noord-Kaap*. Een duidelijk overzigt over de warmte op de aarde is eerst mogelijk gemaakt door HUMBOLDT, door zijne *isothermische lijnen*, lijnen, door welke hij al de plaat-

[redacted]

sen van dezelfde hemispheer vereenigde, welke dezelfde gemiddelde jaarlijksche temperatuur hebben.

Stellen wij ons b. v. voor, dat een reiziger, van uit *Parijs* uitgaande, eene reis om de wereld ging maken, zoodanig, dat hij al de plaatsen van het noordelijke halfrond bezocht, die dezelfde gemiddelde jaarlijksche temperatuur hebben als *Parijs*,

Fig. 510.



namelijk 10,8°, dan zal de weg, dien hij op deze wijze aflegt, eene *lijn van gelijke gemiddelde jaarlijksche temperatuur*, derhalve eene *isotherme lijn* zijn; deze lijn valt echter niet zamen met den breedtegraad van Parijs, zij is onregelmatig en gebogen,

d. i. zij gaat heen door plaatsen, die gelegen zijn op eene geheel andere breedte dan *Parijs*.

In fig. 510 wordt de oppervlakte der aarde voorgesteld met de isothermen van 5 tot 5 graad. Aan den aequator der aarde is de gemiddelde temperatuur aan de oppervlakte der zee 27,5°; aan de Westzijde van *Amerika* en *Afrika* echter iets minder; in het binnenland dier beide werelddeelen, en vooral in *Afrika*, is de gemiddelde temperatuur hooger dan aan de kusten, ja in het binnenland van *Afrika* rijst de gemiddelde temperatuur aan den aequator boven 29°.

De beschouwing der in fig. 510 gegeven kaart zal ons eene nadere beschrijving van den loop der isothermen besparen. Men ziet, dat hare krommingen in het noordelijk halfrond des te aanmerkelijker worden, hoe verder men zich van den aequator verwijdert; de isotherme van 0° b. v. gaat van het zuidelijk uiteinde der kust van *Labrador* over *IJsland* naar de *Noord-Kaap* omhoog, om in het binnenland van Azie weder aanmerkelijk te dalen.

Daar, waar de isothermen het meest naar het Zuiden afdalen, stellen zij eenen concaven, en daar, waar zij het hoogst naar het Noorden oprijzen, stellen zij eenen convexen top daar. De zuidelijke keerpunten der isothermen liggen in het Oostelijk gedeelte van *Noord-Amerika* en in het binnenland van *Azie*, de noordelijke keerpunten daarentegen liggen aan de westkusten van *Europa* en *Amerika*.

De verhoudingen van de temperatuur op het zuidelijk halfrond zijn ons op verre na niet zoo volkomen bekend als die van het noordelijk halfrond; doch men kan het wel voor zeker houden, dat het zuidelijke halfrond kouder is dan het noordelijke. Intusschen zou het wel kunnen wezen, dat dit onderscheid geringer ware, dan men gewoonlijk aanneemt. De omstandigheid, dat men de verhoudingen van temperatuur der meest zuidelijke deelen van *Amerika* vergeleken heeft met de verhoudingen van temperatuur op gelijke noordelijke breedten in *Europa*, waar de isothermen zoo bijzonder hoog naar het noorden omhoog stijgen, mag wel de reden zijn, dat men het zuidelijk halfrond voor zooveel kouder heeft gehouden dan het noordelijke. De zaak laat zich geheel anders aanzien, als men de streken van *Zuid-Amerika* vergelijkt met zoodanige streken, die even ver van den aequator aan de oostkust van *Noord-Amerika* zijn gelegen.

Dat het zuidelijk halfrond eenigzins kouder is dan het noordelijke, kan wel daarvan worden afgeleid, dat op het noordelijke halfrond het land, en op het zuidelijke daarentegen de zee voorheerscht. Het vaste land wordt, door de absorptie der zonnestralen veel meer verwarmd dan de zee, welke een groot gedeelte van deze stralen terugkaatst.

114 **Isotheren en Isochimenen.** Dat niet alle plaatsen, die op den-

zelfden evenwijdigen cirkel gelegen zijn, hetzelfde kilmaat hebben is boven reeds vermeld; maar men kan nu de vraag opperen, of dan op alle plaatsen, die op dezelfde isotherme liggen, op alle plaatsen derhalve, voor welke de gemiddelde jaarlijksche temperatuur gelijk is, ook de overige verhoudingen van klimaat gelijk zijn. Men behoeft slechts de tabel op bladz. 495 en 496 in te zien, om zich te overtuigen, dat dit niet het geval is. Zoo hebben b. v. *Edimburg* en *Tübingen* eene gelijke gemiddelde jaarlijksche temperatuur van 8,6°, maar *te Edimburg* is de gemiddelde temperatuur van den winter 3,6°, en te *Tübingen* 0,2°; hier is dus de winter veel kouder dan te *Edimburg*, terwijl daarentegen de gemiddelde temperatuur van den zomer te *Tübingen* 17,1° en te *Edimburg* slechts 14,4° is. Bij gelijke gemiddelde jaarlijksche temperatuur heeft dus *Edimburg* eenen zachteren winter en eenen kouderen zomer dan *Tübingen*.

Ten einde de verhoudingen der temperatuur van een land te kennen, is het derhalve niet genoeg, dat men zijne gemiddelde jaarlijksche temperatuur kent, maar men moet ook weten, hoe de warmte over de verschillende jaargetijden verdeeld is. Deze verdeeling kan men op eene isothermen kaart daardoor aantoonen, dat men, op het voorbeeld van HUMBOLDT, op de verschillende plaatsen van eene en dezelfde isotherme de gemiddelde zomer- en wintertemperatuur aanteekent, hetgeen op onze kaart (fig. 510) echter niet kon geschieden, daar zij te klein was. Men ziet dan al spoedig, dat juist in de nabijheid van den convexen top der isothermen ook de verschillen tusschen de gemiddelde temperatuur van den zomer en den winter het geringst zijn. Dezelfde oorzaken derhalve, die te weeg brengen, dat de isothermen aan de westkusten van *Europa* en *Amerika* zoo hoog naar het noorden stijgen, maken ook het verschil tusschen de temperatuur van den zomer en winter kleiner. Een zeer goed overzigt van de verdeeling der warmte in den winter en den zomer verkrijgt men door eene kaart, op welke men door kromme lijnen al de plaatsen vereenigt, die dezelfde gemiddelde wintertemperatuur bezitten, en die welke dezelfde gemiddelde zomertemperatuur hebben. De lijnen van dezelfde gemiddelde wintertemperatuur heeten *isochimenen*, de lijnen van dezelfde gemiddelde zomertemperatuur heeten *isotheren*. In fig. 511 is een kaartje van *Europa* afgebeeld, met de isotheren en isochimenen van 5 tot 5 graad.

Die kromme lijnen, wier beantwoordende temperaturen aan de regterzijde van de kaart staan, zijn de *isochemenen*, de andere zijn de *isotheren*. Men ziet uit deze kaart dat de westkust van het zuidelijke gedeelte van *Noorwegen*, *Denemarken*, een gedeelte van *Boheme* en *Hongarije*, *Zevenbergen*, *Bessarabie* en de zuidelijke punt van het schiereiland de *Krim* eene gelijke gemiddelde wintertemperatuur van C° hebben. *Boheme* heeft echter eenen gelijken zomer met de streek van de monden der

Garonne, en in de *Krim* is de zomer nog veel warmer. *Dublin* heeft dezelfde gemiddelde wintertemperatuur, namelijk 5°, als *Nantes*, *Opper-Italie* en *Konstantinopel*, en eene gelijke gemiddelde zomerwarmte met *Drontheim* en *Finnland*.

fig. 511.



De Isothere van 20° gaat van de monden der Garonne ongeveer over *Straatsburg* en *Würzburg* naar *Boheme*, de *Ukraine*, het land der Donsche Kozakken en gaat eenigzins ten noorden der Caspische zee; doch hoe is niet de gemiddelde wintertemperatuur op verschillende plaatsen van deze Isothere! Aan de westkust van *Frankrijk* is zij 5°, in *Boheme* 0°, in de Ukraine — 5° en een weinig ten noorden van de Caspische zee zelfs — 10°.

115 **Land- en zeeklimaat.** De beschouwing der laatste kaart en der tabel op blz. 495 en 496 brengt ons tot het gewigtige onderscheid tusschen een land- en zeeklimaat, of, zoo als men het ook noemt, tusschen continentaal- en kustklimaat. De verschillen tusschen de zomer- en wintertemperatuur nemen toe met den afstand van de zee: aan de zeekusten heerschen koele zomers en zachte winters, in het binnenste van het land heete zomers en koude winters. Deze verschillen doen zich zeer duidelijk waarnemen, als men de verhoudingen van temperatuur der westkusten van *Europa* met die van het noorden van *Azië* vergelijkt. Ten einde de verhouding, waarin de gemiddelde jaarlijksche temperatuur staat tot de verdeeling der warmte gemakkelijk te kunnen overzien, is in de onderstaande,

aan de tabel op bladz. 495 ontleende, voorbeelden de gemiddelde jaarlijksche temperatuur *voor*, de gemiddelde zomertemperatuur *boven* en de gemiddelde wintertemperatuur *beneden* eenen horizontalen streep geplaatst.

Kustklimaat			Continentaalklimaat		
Noordkaap . .	0,1	$\frac{6,4}{-4,6}$	*Jakuzk*.	9,7	$\frac{17,2}{-38,9}$
Reikiavig . . .	4,0	$\frac{12,0}{-1,6}$	*Irkuzk*.	0,2	$\frac{15,9}{-17,6}$
			Moscou	3,6	$\frac{16,8}{-10,3}$

Welken invloed zoodanige verschillen van klimaat moeten uitoefenen op den plantengroei, is duidelijk. Op onderscheidene plaatsen van *Siberië*, te *Jakuzk* b.v., waar de gemiddelde jaarlijksche temperatuur — 9,7° is, doch de gemiddelde wintertemperatuur — 38,9° bedraagt, wordt gedurende den korten, maar warmen zomer tarwe en rogge gebouwd op eenen grond, die op eene diepte van 3 voet bestendig bevroren blijft; terwijl er op het eiland *IJsland*, bij eene veel hoogere jaarlijksche temperatuur en bij eene onbeduidende winterkoude, in het geheel niet gedacht kan worden aan den korenbouw, omdat de lage zomertemperatuur niet voldoende is, om het graan tot rijpheid te brengen.

In het noordoosten van *Ierland*, waar des winters naauwelijks ijs voorkomt, op gelijke hoogte met *Königsberg*, groeit de myrth even zoo sterk als in *Portugal;* op de kusten van *Devonshire* overwintert de Camellia japonica en de Fuchsia oceanica in de vrije lucht; de winter is te *Plymouth* niet kouder dan te *Florence* en te *Montpellier*, en toch gedijt de wijnbouw in *Engeland* niet, omdat de wijnstok wel eenen tamelijken graad van koude kan verdragen, maar eenen warmen zomer behoeft, om de druiven te doen rijpen en eenen drinkbaren wijn te kunnen leveren.

Deze verschillen zijn daarvan afkomstig, dat het vaste land, de warmtestralen gemakkelijker opslorpende en uitstralende, sneller verwarmd en gemakkelijker weder verkoeld wordt, dan de zee, die, overal van dezelfde gesteldheid, uithoofde van hare doorzigtigheid, en uithoofde van de aanmerkelijke specifieke warmte van het water niet zoo snel verwarmd wordt, en de eenmaal verkregene warmte daarentegen ook niet zoo snel weder afgeeft. De temperatuur van de oppervlakte der zee is daarom veel gelijkmatiger; zoowel de dagelijksche als ook de jaarlijksche verschillen van de temperatuur zijn veel geringer dan in het binnenste van groote vaste landen, en hierdoor juist ontstaat het reeds boven vermelde onderscheid tusschen *land-* en *zeeklimaat*, hetwelk daardoor grooter wordt, dat aan de kusten van de noordelijk gelegen landen de hemel meestal bewolkt is, hetgeen zoowel den verwarmenden invloed

der zonnestralen in den zomer matigt, als ook in den winter de sterke verkoeling van den grond door het uitstralen van warmte belet.

116 **Oorzaken van de kromming der Isothermen.** De voornaamste oorzaken, dat de isothermen aan de westkusten van *Europa* en *Amerika* zoo sterk naar het Noorden zijn gekromd, zijn hoofdzakelijk de volgende:

In de noordelijke gematigde luchtstreek zijn de zuidwestelijke en noordoostelijke winden de voorheerschende. De zuidwestelijke wind komt uit de aequatoriaalstreken, en voert de warmte der keerkringen voor een gedeelte naar de koudere landen; doch deze verwarmende invloed der zuidwestelijke winden zal vooral waarneembaar zijn in die landen, die het meest aan den zuidwestelijken luchtstroom zijn blootgesteld, en hieruit laat het zich verklaren, dat de westkusten der groote continenten warmer zijn dan de oostkusten, en dat de isothermen in *Europa*, dat eigenlijk slechts eene soort van schiereiland van het Aziatische continent daarstelt, en aan de westkusten van *Noord-Amerika* verder omhoog rijzen, dan in het binnenland van *Azië* en aan de oostelijke kusten van *Noord-Amerika*.

Eene tweede omstandigheid, aan welke *Europa* zijn betrekkelijk warme klimaat heeft te danken, is die, dat er aan het zuiden van *Europa*, in de aequatoriaalstreek, niet eene zee, maar een uitgebreid land, namelijk *Afrika* is gelegen, welks grond, die voor het grootste gedeelte kaal en zandig is, onder den invloed der loodregt opvallende zonnestralen buitengemeen warm wordt. Een warme luchtstroom rijst gestadig van de gloeijende zandwoestijnen omhoog, om in *Europa* weder neêr te dalen.

Eindelijk draagt eene strooming van de zee, onder den naam van *golfstrooming* bekend, er zeer veel toe bij, om het klimaat van *Europa* zachter te maken. De oorsprong van deze strooming moet gezocht worden in de golf van *Mexico*, waar het zeewater tot op eene temperatuur van 31° verwarmd wordt. Tusschen *Cuba* en *Florida* uit de golf van *Mexico* tredende, gaat de stroom aanvankelijk langs de kusten van *Amerika*, om zich dan, steeds breeder wordende en terwijl hare temperatuur afneemt, oostwaarts naar *Europa* te begeven. Al reikt de golfstroom ook niet zelf tot aan de kusten van *Europa*, dan verspreidt zich toch zijn warme water, vooral onder den invloed der voorheerschende zuidwestelijke winden, in de Europeesche wateren, hetgeen reeds hieruit blijken kan, dat men aan de westelijke kusten van *Ierland* en aan de kusten van *Noorwegen* de vruchten vindt van boomen, die in de warme luchtstreek van *Amerika* groeijen. De westelijke en zuidwestelijke winden blijven derhalve lang in aanraking met zeewater, welks temperatuur tusschen den 45° en 50° breedtegraad zelfs in Januarij niet beneden 10,7° tot 9° daalt. Onder den invloed van dezen golfstroom is het noorden van *Europa* door eene zee, in welke

geen ijs aanwezig is, afgescheiden van de streek van den poolcirkel, en zelfs in het koudste jaargetijde strekt de grens van den poolcirkel zich niet tot aan de Europeesche kusten uit.

Terwijl op deze wijze al de omstandigheden zamenwerken, om in *Europa* de temperatuur te verhoogen, werken er in het noorden van Azië onderscheidene oorzaken zamen, om de isothermen aanmerkelijk te doen dalen. In het midden van Azie zijn er tusschen de keerkringen geene uitgebreide landstreken gelegen, en slechts eenige, tot *Azië* behoorende, schiereilanden strekken zich in de heete luchtstreek uit. De hier gelegene zeeën worden niet zoo sterk verwarmd als de Afrikaansche woestijnen, gedeeltelijk omdat het water de warmtestralen oneindig minder opslorpt, en gedeeltelijk omdat er, bij de verdamping aan de oppervlakte van het water, zeer veel warmte gebonden wordt. De warme luchtstroomen, die, uit den Indischen Oceaan omhoog rijzende, de warmte der tropische gewesten naar het binnenste en noordelijke gedeelte van *Azië* zouden kunnen toevoeren, worden nog tegengehouden door de groote bergketens in het zuiden van *Azië*, terwijl het land naar het noorden, waar het steeds vlakker wordt, blootgesteld is aan de noordelijke en noordoostelijke winden. Terwijl *Europa* zich niet ver naar het noorden uitstrekt, strekt *Azië* zich ver uit in de noordelijke ijszee, die, hier onttrokken aan alle verwarmende invloeden, door welke de temperatuur der Europesche zeeën verhoogd wordt, bijkans altijd met ijs bedekt is. Overal strekken de noordelijke kusten van *Azië* zich uit tot aan de wintergrenzen van het ijs der polen, en de zomergrens van dit ijs is slechts gedurende korten tijd tot op eenigen afstand van deze kusten verwijderd. Dat nu door deze omstandigheid de temperatuur aanmerkelijk moet verlagen, zal men gemakkelijk inzien, als men bedenkt, hoeveel warmte er bij het smelten van zoodanige massa's van ijs wordt gebonden.

De aanmerkelijke daling der isothermen in het binnenste en aan de oostelijke kusten van *Noord-Amerika*, is ten deele daarvan afhankelijk, dat de zuidwestelijke winden niet meer zeewinden, maar landwinden zijn, en hier derhalve niet meer denzelfden verwarmenden invloed kunnen uitoefenen als op de westkusten. Terwijl de Europeesche kusten bespoeld worden door warmer water, gaan er langs de oostelijke kusten van *Noord-Amerika* koude stroomen van het noorden naar het zuiden. Een zoodanige stroom, van *Spitsbergen* afkomende, gaat tusschen *IJsland* en *Groenland* heen, en vereenigt zich dan met de stroomen, die uit de Hudsons en Baffinsbaai komen, om aan de kust van *Labrador* naar beneden, langs *Newfoundland* heen te drijven, en zich beneden den 44° breedtegraad in den golfstroom uit te storten. Deze noordelijke strooming brengt de koude der poolstreken, gedeeltelijk door de lagere temperatuur van het water, maar grootendeels door

de drijvende ijsbergen, in de zuidelijke streken, en hierdoor is deze strooming eene der hoofdoorzaken van de aanmerkelijke daling der isothermen aan de oostkust van *Amerika.*

117 **Temperatuur van den grond.** Tot hiertoe hebben wij enkel gehandeld over de temperatuur der lucht, en niet over de temperatuur van de bovenste lagen van den grond, die, naar gelang van den aard der oppervlakte van den grond, dikwijls aanmerkelijk van de temperatuur der lucht kan verschillen. Een naakte, steenachtige of zandige grond, zonder plantengroei, wordt door de absorptie van de zonnestralen veel warmer, een met planten bedekte grond, b.v. een weidegrond, wordt door de nachtelijke uitstraling veel kouder, dan de lucht, wier temperatuur reeds door de aanhoudende luchtstroomen meer gelijkmatig wordt gehouden. In de Afrikaansche woestijnen rijst de temperatuur van het zand dikwijls tot op 50° à 60°. Een met planten bedekte grond blijft kouder, omdat de zonnestralen er niet regtstreeks op kunnen vallen, de planten zelve binden in zekeren zin eene aanzienlijke hoeveelheid warmte, omdat er door den plantengroei eene groote hoeveelheid water verdampt; zij verkoelen, gelijk wij zoo aanstonds zullen zien, als wij het ontstaan van den dauw beschouwen, ten gevolge van hun sterk vermogen om warmte uit te stralen, zoo aanmerkelijk, dat de temperatuur van het gras vaak 6 tot 9 graden beneden de temperatuur der lucht daalt. In het diepste van bosschen is de lucht bestendig koel, omdat het digte loof op dezelfde wijze afkoelend werkt als het gras, en omdat de lucht, die aan de toppen der boomen is afgekoeld, naar beneden daalt.

Uit hoofde van zijn onvolkomen vermogen tot geleiding der warmte, kan de warmte der bovenste lagen van den grond slechts langzamerhand in het binnenste van den grond dringen; maar als daarentegen de oppervlakte verkoelt, verliezen ook de diepere lagen van den grond hare warmte minder spoedig. Op eene geringe diepte in den grond zullen derhalve de wisselingen van temperatuur veel geringer zijn, dan aan de oppervlakte zelve. In *Duitschland* houden op eene diepte van 6 palmen de dagelijksche wisselingen van temperatuur op, en op eene grootere diepte houden zelfs de jaarlijksche wisselingen op, zoodat hier bestendig eene temperatuur heerscht, die slechts weinig van de gemiddelde temperatuur der plaats verschilt.

Ofschoon al de warmte op de oppervlakte der aarde enkel van de zon afkomstig is, bezit toch de aarde ook hare eigene warmte, gelijk men kan opmaken uit de toename van temperatuur, welke men op groote diepten heeft waargenomen. Indien de warmte naar het middelpunt der aarde heen ook op grootere diepten nog in dezelfde mate toeneemt, die ons de waarnemingen hebben doen kennen, dan zoude reeds op eene diepte van 3200 el de temperatuur van kokend water heerschen, en in het middelpunt der aarde zouden alle ligchamen gloeijend en in gesmolten staat zijn. Dat wij niets merken van deze

buitengemeene hitte in het binnenste der aarde, is te verklaren uit het slechte geleidingsvermogen der bekoelde aardkorst, welke dezen gloeijenden kern omgeeft.

De meeste waterrijke bronnen bezitten eene temperatuur, die in de verschillende jaargetijden slechts weinig verandert. Op ons halfrond bereiken zij meestal hare hoogste temperatuur in September, hare laagste in Maart; het verschil tusschen hare hoogste en laagste temperatuur bedraagt doorgaans slechts 1° tot 2°.

Bronnen, welke uit grootere diepten afkomstig zijn, bezitten eene veel hoogere temperatuur, zoo als dit met vele zout- en andere minerale bronnen het geval is. Het water van vele bronnen heeft bijkans de temperatuur van het kookpunt.

Vermindering der temperatuur in de hoogere streken der lucht. De 118
verwarming der lucht ontstaat uit twee oorzaken; vooreerst slorpt zij een gedeelte der van de zon afkomstige warmtestralen op; doch, daar de lucht veel minder dan de oppervlakte der aarde de warmtestralen opslorpt, is ook de verwarming der lucht door absorptie der warmtestralen veel geringer, dan de verwarming van den grond. De grootste hoeveelheid van hare warmte krijgt de lucht van beneden af.

Zoo de lucht niet eene veerkrachtige vloeistof ware, en zoo de digtheid van den dampkring op iedere hoogte dezelfde bleef, dan zouden de aan den grond verwarmde luchtlagen omhoog rijzen tot aan de grens van den dampkring, en de bovenste lagen van de luchtzee, die onze aarde omringt, zouden ook de warmste zijn. Daar evenwel de warme luchtlagen bij het omhoog rijzen zich uitzetten, wordt hierbij warmte gebonden, hare temperatuur moet derhalve dalen, en dit is de reden, dat de hoogere luchtlagen kouder zijn dan de lagere.

Dat er werkelijk eene zoodanige vermindering in de temperatuur der hoogere streken van de lucht plaats grijpt, hiervan kan men zich overtuigen, als men naar deze hoogere streken omhoog klimt, hetzij met eenen luchtballon of door het beklimmen van hooge bergen.

In de *Alpen* beantwoordt gemiddeld eene hoogte van 180 el aan eene vermindering in temperatnur van 1°.

Een gevolg der aan de hoogte beantwoordende temperatuursverlaging, is de voortdurende aanwezigheid van sneeuw op hooge bergen.

De grens van de eeuwige sneeuw ligt natuurlijk des te hooger, hoe meer men tot de verzengde luchtstreek nadert. De hoogte der sneeuwgrens is voor

de kusten van Noorwegen	720 el
IJsland	936 „
De Alpen	2708 „
De Etna.	2905 „
Himalaija	4500 „
Mexico	4500 „
Quito.	4800 „

TWEEDE HOOFDSTUK.

Over de drukking der lucht en de winden.

119 Wij hebben vroeger reeds gezien, dat de drukking der lucht wordt gemeten door middel van den barometer. Aan dit werktuig neemt men nu echter bestendige wisselingen waar, hetgeen op eene afwisselende afname en toeneming van de drukking der lucht duidt.

De afwisselingen in den stand van den barometer zijn periodische of toevallige.

De periodische wisselingen worden zeer duidelijk waargenomen in de keerkringsstreken; de barometer daalt van des morgens 10 uur tot des namiddags 4 uur, rijst dan tot des avonds elf uur, daalt weder tot des morgens 4 uur en rijst andermaal tot aan des morgens 10 uur. De stand van den barometer vertoont derhalve twee dagelijksche maxima, des morgens om 10 uur en des avonds om 11 uur, en twee dagelijksche minima, des morgens om 4 uur en des namiddags om 4 uur.

De grootte der dagelijksche wisselingen bedraagt ongeveer 2^{mm}.

In de keerkringsgewesten neemt men ook zeer duidelijk eene jaarlijksche periode waar in de wisselingen van den barometer. Deze daalt aan het noorden van den aequator van Januarij tot aan Julij, en rijst dan weder van Julij tot aan Januarij. In Julij is de gemiddelde barometerstand 2 tot 4 millimeters lager dan in Januarij.

Op hoogere breedten zijn de toevallige wisselingen van den barometer zoo belangrijk, dat hierdoor de zeer geringe periodische wisselingen geheel op den achtergrond worden gesteld. Ten einde te kunnen beslissen, of er ook niet eene periodische rijzing en daling moet worden aangenomen onder de steeds bestaande toevallige wisselingen van den barometer, moet men de middelgetallen eener groote reeks van barometrische waarnemingen, die geregeld op bepaalde uren van den dag in het werk zijn gesteld, met elkander vergelijken. Indien men echter gedurende eene maand lang den barometer op onderscheidene bepaalde uren van den dag heeft waargenomen, en het gemiddelde uit alle op hetzelfde uur in het werk gestelde waarnemingen neemt, dan is dit voldoende, om het bestaan van dagelijksche wisselingen van den stand des barometers ook voor onze streken te bewijzen.

Zoodanige waarnemingen hebben nu geleerd, dat er ook bij ons wel degelijk periodische wisselingen plaats grijpen. Des morgens om 9 uur staat in onze streken de barometer gemiddeld $0,7^{mm}$ hooger dan des namiddags om 2 uur; en ook is de gemiddelde stand van den barometer in den zomer eenigzins lager dan in den winter.

[redacted]

Oorzaken der afwisselingen van den barometerstand. De oorzaak van 120
alle wisselingen van den barometerstand moet gezocht worden in de ongelijke en gestadig veranderende verdeeling der warmte op de aarde. Dewijl de verdeeling der warmte op de aarde bestendig verandert, wordt ook op ieder oogenblik het evenwigt gestoord, en er ontstaan luchtstroomen, welke streven om het gestoorde evenwigt weder te herstellen, en hierdoor is dan de lucht in eene bestendige beweging; nu eens meer verwarmd en daarom ligter, dan weder verkoeld en daarom digter; nu eens meer, dan minder waterdamp bevattende, zal ook de drukking der luchtzuil onderhevig zijn aan gedurige veranderingen, welke de barometer ons doet kennen.

Dat werkelijk veranderingen van temperatuur de oorzaken zijn van wisselingen in den barometerstand, blijkt reeds daaruit, dat zij in de keerkringsgewesten, waar de temperatuur zoo weinig veranderlijk is, ook het minst belangrijk zijn.— Daarentegen zal op hoogere breedten, waar de afwisselingen van temperatuur altijd belangrijker worden, ook de amplitude der toevallige wisselingen van den barometerstand zeer groot wezen, ja zelfs in den zomer, als de temperatuur over het algemeen minder veranderlijk is, zijn de wisselingen van den barometer kleiner dan in den winter.

Ofschoon men over het algemeen kan aantoonen, dat de ongelijke en steeds veranderende verwarming der lucht bestendige veranderingen in de mate van drukking der lucht ten gevolge moet hebben, zijn wij er toch nog verre van af, om al de afzonderlijke, hiertoe behoorende, verschijnselen voldoende te kunnen verklaren.

Wanneer op de eene of andere plaats de lucht aanmerkelijk verwarmd wordt, dan zet zij zich uit, deze luchtzuil verheft zich boven de luchtmassa, welke op de koudere voorwerpen in den omtrek rust, de omhoog gerezen lucht zal derhalve boven ter zijde uitwijken, de drukking der lucht zal dus aan de warmere plaatsen moeten afnemen, en de barometer zal zelfs moeten dalen. In den kouderen omtrek echter moet de barometer rijzen, omdat de warme lucht, die in de hoogere streken der verwarmde plaats zijdelings toestroomt, zich op den atmospheer der koudere streken verbreidt.

Hieruit laat het zich ook verklaren, waarom in onze streken doorgaans bij zuidwestelijke winden de barometer het laagst, en bij noordoostelijke winden het hoogst staat. De zuidwestelijke winden brengen ons warme lucht aan, terwijl de noordoostelijke ons eene koudere lucht toevoeren. Daar, waar een warme luchtstroom waait, zou de atmospheer eene grootere hoogte moeten hebben dan daar, waar de koude wind waait, zoo de drukking der geheele luchtzuil op beide plaatsen gelijk zou zijn. Doch al ware dit werkelijk het geval, dan zou de lucht van den warmen stroom van boven zijdelings wegvloeijen, en de barometer dus toch onder den warmen luchtstroom

moeten dalen, en onder den kouden daarentegen moeten rijzen.

In *Europa* zijn de zuidwestelijke winden doorgaans ook de regenwinden, omdat zij, van warmere zeeën afkomende, zijn verzadigd met waterdamp, die zich langzamerhand verdigt en als regen nedervalt, wanneer de wind in steeds koudere streken komt. In deze condensatie der waterdampen is eene tweede oorzaak gelegen, van den lagen stand van den barometer bij zuidwestelijke winden. Zoo lang namelijk de waterdamp onder den vorm van gas een deel van den dampkring uitmaakt, moet ook hieraan een gedeelte van de dampkringsdrukking worden toegeschreven. Een gedeelte van de kwikzilverkolom in den barometer wordt gedragen door den waterdamp; en de barometer moet derhalve dalen, wanneer de waterdamp uit den dampkring door verdigting wordt afgescheiden.

Daar de zuidwestelijke winden, die in onze streken eene daling van den barometer te weeg brengen, ons ook eene vochtige lucht toevoeren, en regenachtig weder aanbrengen; terwijl de barometer rijst, wanneer de noordoostelijke winden waaijen, door welke de lucht drooger, de hemel helder wordt gemaakt, kan men met eenig regt zeggen, dat over het algemeen een hooge barometerstand fraai weder en een lage barometerstand slecht weder voorspelt. Dit is echter, gelijk wij reeds zeiden, slechts een in het algemeen doorgaande regel, want bij noordelijken wind is de lucht ook vaak bewolkt, en bij zuidwestelijken wind menigmaal toch helder. Het is in allen gevalle in zoo verre waar, als het waar is, dat de barometer bij noordoostelijken wind hoog en bij zuidwestelijken wind laag staat, — iets, hetwelk ook niet altijd, maar slechts doorgaans waar is. Wij kunnen van zoodanige anomalien geene verklaring geven, dewijl wij niet genoeg bekend zijn met de menigvuldige omstandigheden, door welke de evenwigtstoestand in den atmospheer wordt daargesteld.

Dat een hooge barometerstand in het algemeen fraai weder voorspelt, en een lage slecht weder, is ook enkel waar voor die plaatsen, waar de warme winden tevens regen aanbrengen. Aan den mond der La Plata rivier b.v. zijn juist de koude zuidwestelijke winden, die van de zee waaijen en den barometer doen rijzen, de regenwinden; terwijl de warme noordoostelijke winden, bij welke de barometer daalt, drooge landwinden zijn en helder weder aanbrengen. De mindere hoeveelheid regen, welke in deze streken valt, is toe te schrijven aan de omstandigheid, dat hier de regen door koude winden wordt aangevoerd, terwijl er op dezelfde breedte aan de westkust van *Zuid-Amerika* zeer veel regen valt, dewijl hier de warme noordwestelijke wind te gelijk een zeewind is.

121 **Het ontstaan der winden.** Even als bij de op blz. 433 beschrevene proef in het klein, de ongelijke verwarming der beide ruimten luchtstroomen te weeg brengt, zoo is ook de

ongelijke, steeds afwisselende verwarming der oppervlakte van de aarde en der boven haar zwevende luchtzee de oorzaak van die luchtstroomen, die wij *winden* noemen. Ook in het groot ziet men de lucht in de sterker verwarmde streken omhoog rijzen en in de hoogte naar de koudere streken heenvloeijen, terwijl van onder de lucht van de koudere streken naar de warmere heenstroomt.

Een eenvoudig voorbeeld hebben wij aan de land- en zeewinden, die men dikwijls aan zeestranden, en vooral ook op eilanden waarneemt. Eenige uren na zonsopgang verheft zich een van de zee naar de kust gerigte wind, de *zeewind*, omdat het vaste land onder den invloed der zonnestralen sterker verwarmd wordt dan de zee: boven het land stijgt de lucht omhoog en stroomt van boven af naar de zee toe, terwijl van beneden de lucht van de zee naar de kusten heenstroomt. Deze zeewind is aanvankelijk zwak en slechts aan het strand zelf waarneembaar; later neemt hij toe, en doet zich dan ook op de zee reeds op eenen grooteren afstand van het strand voor; des namiddags tusschen 2 en 3 uur wordt hij het sterkst, neemt dan wederom af, en tegen zonsondergang treedt er windstilte in. Nu verkoelen land en zee door de uitstraling van warmte naar den hemel, het land bekoelt spoediger dan de zee, en nu stroomt de lucht in de lagere streken van het land naar de zee, terwijl er in de hoogere streken der lucht eene tegenovergestelde strooming bestaat.

Tot de oorzaken, welke luchtstroomen, ja zelfs de hoogste stormen kunnen te weeg brengen, kan men ook eene snelle condensatie van den waterdamp des dampkrings brengen. Als men bedenkt, welk eene buitengemeene hoeveelheid waters er bij eenen plasregen binnen weinig minuten op aarde valt, welk eenen buitengemeenen omvang dit water moet hebben ingenomen, toen het nog onder den vorm van damp in den atmospheer zweefde, dan is het duidelijk, dat er door de plotselinge condensatie dezer dampen eene belangrijke verdunning der lucht moet ontstaan, en dat de lucht van alle zijden met geweld in de verdunde ruimte moet dringen; te meer, omdat daar, waar de condensatie plaats grijpt, de temperatuur der lucht door de vrij wordende warmte verhoogd, en hierdoor een met kracht opstijgende luchtstroom voortgebragt wordt. Dikwijls ziet men de wolken in andere rigtingen trekken dan die, welke door de windwijzers wordt aangewezen, en dikwijls trekken ook de hoogere wolken in eene andere rigting dan de lager zwevende, waaruit blijkt, dat er op verschillende hoogten luchtstroomen bestaan in verschillende rigtingen.

Passaatwinden en moussons. Toen COLUMBUS op zijne ontdek- 122
kingsreis naar *Amerika* met zijne schepen door eenen bestendigen oostewind werd voortgevoerd, werden zijne togtgenooten met angst vervuld, omdat zij vreesden, dat zij nooit weder naar *Europa* zouden kunnen terugkeeren. Deze in de keerkrings-

gewesten bestendig van het oosten naar het westen waaijende wind, die in zoo hooge mate de verwondering der zeereizigers van de vijftiende eeuw opwekte, is de *passaatwind*. De zeelieden maken gebruik van dezen wind, om van *Europa* naar *Amerika* te zeilen, daar zij van *Madera* af zuidwaarts tot in de nabijheid van den keerkring sturen, waar zij dan door den passaatwind naar het westen worden gedreven. Deze reis is zoo zeker, en het werk van de matrozen zoo gering, dat de spaansche zeelieden aan dit gedeelte van den Atlantischen oceaan den naam gaven van Vrouwengolf (*el golfo de las Damas*). Ook in de Zuidzee waait deze wind, door welken de spaansche zeelieden zich in eene regte lijn van *Acapulco* naar *Manilla* lieten drijven.

In den Atlantischen oceaan strekt zich de passaatwind uit tot aan den 28 — 30 graad, in den grooten oceaan slechts tot aan den 25 graad noorderbreedte. In de noordelijke helft van de verzengde luchtstreek is de rigting van den passaatwind *noord-oostelijk*, maar hoe meer hij tot den aequator nadert, des te meer wordt zijne rigting zuiver oostelijk. De grens van den passaat is in het zuidelijk halfrond minder naauwkeurig bepaald, maar daar heeft de passaat eene *zuidoostelijke* rigting, die meer en meer oostelijk wordt, hoe meer hij tot den aequator nadert.

Deze winden waaijen rondom de geheele aarde, doch zij zijn in den regel eerst op den afstand van 50 mijlen van het vaste land duidelijk merkbaar. Daar, waar de noordoostpassaat van het noordelijk en de zuidoostpassaat van het zuidelijke halfrond zamenkomen, stellen zij te zamen eenen zuiver oostelijken wind daar, die echter onmerkbaar wordt, omdat de horizontale beweging der door de intensiteit der zonnestralen sterk verwarmde en daarom krachtig oprijzende lucht juist door deze loodregte beweging wordt veronzijdigd. Er zou in deze streken eene bijkans volkomene windstilte heerschen, zoo niet de hevige stormen, welke de regens vergezellen, die hier bijkans dagelijks onder verschijnselen van donder en bliksem vallen, de rust van den dampkring stoorden, en het waaijen van zachte, regelmatige winden onmogelijk maakten.

Deze luchtstreek, door welke de passaatwinden der beide halfronden van elkander worden gescheiden, is de *streek van de windstilte*.

Het kaartje in fig. 513 dient, om de streken aan te toonen, in welke de passaatwinden heerschen. Het midden van de streek der windstilte, die over het algemeen eene breedte van 6° heeft, valt niet gelijk men vooraf zou verwachten, met den aequator zamen, maar ligt ten noorden daarvan. Ten tijde van onze zomerwarmte is de streek van de windstilte breeder, en hare noordelijke grens verder van den aequator verwijderd, terwijl de zuidelijke grens slechts weinig verandert.

[redacted]

oorzaak, waarom de streek der windstilte op het noorde-
ıalfrond gelegen is, moet gezocht worden in de gedaante
'aste landen.



Fig. 512.

t ontstaan der passaatwinden kan gemakkelijk worden ver-
:l. De lucht, welke in de streek van den aequator sterk
ırmd omhoog rijst, verheft zich boven de koudere lucht-
ı's aan hare beide zijden, en stroomt van boven af naar
ılen toe, terwijl beneden de lucht van de polen naar den
ıtor heen stroomt. Zoo de aarde niet om hare as draaide,
zou de passaatwind op het noordelijk halfrond juist van
ıoorden naar het zuiden, op het zuidelijk halfrond daar-
en in eene tegenovergestelde rigting waaijen. Nu draait
r de aarde om hare as van het westen naar het oosten,
: luchtzee, door welke zij omringd is, deelt in deze draai-
. beweging.

ıe nader eenige plaats van de oppervlakte der aarde bij
ılen ligt, des te langzamer zal zij bewogen worden in den
l, dien de aarde in 24 uren beschrijft, omdat deze cirkel
e kleiner is, hoe verder men zich van den aequator ver-
rt. Bij gevolg is ook de snelheid, waarmede de lucht-
ı in de nabijheid der polen ronddraait, kleiner, dan aan
aequator. Indien nu eene luchtmassa van uit hoogere
.ten naar den aequator heenstroomt, dan komt zij met eene
ːre ronddraaijingssnelheid aan boven landen, die zich met
snelheid van het westen naar het oosten bewegen; en zij
dus met betrekking tot den grond, die zich beneden haar
:gt, eene rigting van het oosten naar het westen. Deze
ging combineert zich met die welke naar den aequator
;aat, op het noordelijk halfrond tot eenen noordoostelijken,
:t zuidelijk halfrond tot eenen zuidoostelijken wind.

lucht, die in de streek van den aequator omhoog rijst,
in de hoogte naar beide zijden af, om naar de polen
te stroomen. De rigting van dezen bovensten passaat
uurlijk tegenovergesteld aan die van den ondersten, zij is
t noordelijk halfrond naar het zuidwesten, in het zuide-
alfrond naar het noordwesten gerigt.

Dat er in de bovenste luchtstreken werkelijk een passaat waait, wier rigting tegenovergesteld is aan die van den ondersten, kan door daadzaken worden bewezen. Zoo werd b. v. op den 25 Februarij 1835, bij eene uitbarsting van den vulkaan van *Cosiguina* in den Staat *Guatimala*, de asch omhoog geworpen tot in den bovensten passaat, door welken zij in eene zuidwestelijke rigting werd voortgevoerd, zoodat zij op het eiland *Jamaica* nederviel, niettegenstaande in de lagere streken de noordoostpassaat woei.

Op eenen grooten afstand van den aequator komt de bovenste passaat lager en lager bij de oppervlakte der aarde. Op den top van den Piek van *Teneriffe* heerschen bijna altijd westewinden, terwijl aan de oppervlakte der zee de lage passaat waait.

In de indische zee wordt de regelmatigheid der passaatwinden gestoord door de gedaante der landen, welke deze zee omgeven, en vooral door het vaste land van *Azie.* In het zuidelijke gedeelte van de indische zee, tusschen *Nieuw-Holland* en *Madagascar*, heerscht gedurende het geheele jaar de *zuidoostpassaat*, in het noordelijke gedeelte van deze zee echter, waait gedurende de eene helft van het jaar bestendig een *zuidwestelijke*, gedurende de andere helft van het jaar gestadig een *noordoostelijke* wind. Deze regelmatig afwisselende winden worden *moussons* genoemd.

De zuidwestelijke wind waait van April tot aan October, en gedurende de overige maanden van het jaar waait de noordoostewind.

Terwijl in de wintermaanden het vaste land van *Azie* verkoelt, maar de zon in zuidelijker streken eene grootere warmte voortbrengt, moet er natuurlijk een noordoostpassaat van het koudere *Azie* naar de warmere streken waaijen. Omtrent dezen tijd is ook in de indische zee de noordoostpassaat door de streek der windstilte van den zuidoostpassaat gescheiden.

In den zomer wordt het waaijen van den zuidoostpassaat tusschen *Nieuw-Holland* en *Madagascar* niet gestoord, maar in het noordelijke gedeelte der indische zee, in hetwelk gedurende den winter een noordoostelijke wind had gewaaid, wordt deze veranderd in eenen zuidwestelijken, omdat nu het vaste land van *Azie* sterk verwarmd wordt, en er hierdoor eene luchtstrooming ontstaat naar het noorden, die door de ronddraaijing der aarde verandert in eenen zuidwestelijken wind.

123 **Winden op hoogere breedten.** De bovenste passaat, door welken de lucht uit de streken van den aequator wordt teruggevoerd, daalt, gelijk reeds vermeld werd, steeds meer en meer naar beneden, en komt eindelijk als zuidwestelijke wind op de oppervlakte der aarde. Buiten de streek der passaatwinden gaan derhalve de beide luchtstroomen, door welke de lucht van de polen naar den aequator en van den aequator terug naar de polen gevoerd wordt, niet meer boven elkander, maar naast elkander heen, zij trachten wederkeerig elkander te verdrin-

hierbij houdt nu eens de zuidwestelijke, dan weder de oostelijke de overhand, en bij den overgang van eene rigtingen in eene andere, zien wij de tusschenwinden lle streken van het kompas waaijen. Ofschoon ook op breedten de zuidwestelijke en de noordoostelijke wind schende winden zijn, vindt er bij deze geene zoo regel- periodische afwisseling plaats, als bij de moussons in che zee.

volgende tabel leert ons de menigvuldigheid der win- onderscheidene landen kennen: zij geeft namelijk aan, wijls gemiddeld in 1000 dagen eene der acht hoofd- waait.

)EN.	N.	N.O.	O.	Z.O.	Z.	Z.W.	W.	N.W.
. . .	82	111	99	81	111	225	171	120
. . .	126	140	84	76	117	192	155	110
nd . .	84	98	119	87	97	185	198	131
ken. .	65	98	100	129	92	198	161	156
. . . .	102	104	80	110	128	210	159	106
. . .	99	191	81	130	98	143	166	192
nerika	96	116	49	108	123	197	101	210

draaijing van den wind. Ofschoon in onze streken, bij 124
ervlakkige beschouwing, de veranderingen van den der eenigen regel schijnen plaats te grijpen, hebben nerkzame waarnemers toch reeds lang gezien, dat de orgaans in de onderstaande orde op elkander volgen:
Z.W., W., N.W., N., N.O., O., Z.O., Z.
elmatigst kan deze draaijing van den wind in den winter aargenomen. De hiermede zamenvallende veranderin- n stand van den barometer en van den thermometer OVE zeer schoon met de volgende woorden beschreven: eer de *zuidwestewind*, steeds sterker waaijende, einde- men is doorgedrongen, dan verhoogt hij de temperatuur t vriespunt, het kan daarom niet meer sneeuwen, maar nt, onderwijl de barometer tot zijnen laagsten stand Nu draait de wind zich naar het *westen*, en de digte lokken zijn, even zoo goed als de snelle rijzing van ometer, de windwijzer en de thermometer, een bewijs koudere wind is ingevallen. Met *Noord* wordt de elderder, met den *noordoostelijken* wind treedt het maxi- n koude en van den barometerstand in. Langzamerhand egint deze te dalen, en fijne vederwolken bewijzen, door g waaruit zij voortkomen, dat in de hoogere streken

de zuidelijke wind is begonnen, die door den barometer reeds wordt waargenomen, nog eer hij door den windwijzer wordt aangekondigd, die dan nog steeds naar het *Oosten* wijst. Echter verdringt de van boven komende *zuidelijke* wind den oostelijken steeds meer en meer, en terwijl het kwikzilver in den barometer merkbaar daalt, gaat de windwijzer naar het *zuidoosten* over, de hemel wordt langzamerhand meer en meer betrokken, en onder het rijzen van de temperatuur wordt de sneeuw, die bij Z. O. en Z. valt, bij Z. W. weder met regen verwisseld. Nu gaat het weder op dezelfde wijze rond, en hoogst eigenaardig is hierbij de overgang uit de streek van den oostewind in die van den westewind gewoonlijk door eene helderheid van korten duur is gescheiden."

Niet altijd kan men de draaijing van den wind zoo zuiver waarnemen, als dit boven werd vermeld, daar het vaak gebeurt, dat de wind terug springt. Een zoodanig terug springen wordt echter veel menigvuldiger waargenomen als de wind naar de westzijde van het kompas waait, dan wanneer hij naar de oostzijde waait. Eene volkomene omdraaijing van den wind in eene tegenovergestelde rigting aan de boven beschrevene, namelijk van het zuiden door het oosten en noorden naar het westen, wordt in *Europa* hoogst zelden waargenomen.

De verklaring van de bovenstaande wet volgt uit eene algemeene toepassing van de verklaring der passaatwinden.

Indien de lucht door de eene of andere oorzaak van de polen naar den aequator wordt gedreven, dan komt zij van plaatsen, wier snelheid van ronddraaijing kleiner is, naar andere plaatsen, die eene grootere snelheid van ronddraaijing bezitten. De beweging van deze winden krijgt hierdoor eene oostelijke rigting, gelijk wij reeds bij de passaatwinden hebben gezien. Op het noordelijk halfrond gaan om die reden de winden, die als noordelijke winden ontstaan, bij hunnen langzamen voortgang door het noordoosten in het oosten over. Zoodra er op deze wijze een oostelijke wind ontstaan is, dan zal deze, als de oorzaak aanhoudt, die den luchtstroom naar den aequator heenvoert, den stroom, die van de polen afkomstig is, in zijnen loop hinderen, de lucht zal de snelheid van ronddraaijing aannemen van de plaats, boven welke zij zich bevindt, en zoo nu de neiging, om naar den aequator heen te stroomen, nog altijd aanhoudt, dan springt de wind naar het noorden terug, en nu herhaalt zich dezelfde reeks van verschijnselen.

Wanneer er echter, nadat de stroomen, die van de polen afkomen, eenigen tijd geheerscht hebben en de rigting van den wind oostelijk geworden is, aequatoriaalstroomen intreden, dan gaat de oostewind door het zuidoosten naar het zuiden over. Indien de lucht van het zuiden naar het noorden voortstroomt, dan komt zij met de grootere snelheid van ronddraaijing van die poolcirkels, welke digter bij den aequator liggen, aan plaatsen, welke eene geringere snelheid van rond-

draaijing hebben. Zij zal dan derhalve met eene grootere snelheid van ronddraaijing dan de oppervlakte der aarde bezit, welke van het westen naar het oosten ronddraait, de aarde als het ware voorbij snellen, de zuidelijke rigting van den wind zal langzamerhand zuidwestelijk, en dan geheel westelijk moeten worden. Bij aanhoudende neiging der lucht, om naar de polen te stroomen, zal de wind al spoedig weder naar het zuiden terug springen, juist zoodanig als de oostewind naar het noorden terug springt. Indien echter de aequatoriale strooming verdrongen wordt door eene van de polen afkomstige strooming, dan slaat de westewind door het noordwesten naar het noorden om.

Op het zuidelijke halfrond moet de wind in eene tegenovergestelde rigting omslaan.

Daar, waar in de keerkringsstreken de passaatwinden waaijen, is er aan de oppervlakte der aarde zelfs geene volkomene ronddraaijing, en de rigting van den passaat wordt slechts bij zijnen voortgang altijd meer oostelijk.

In de streek der moussons grijpt er, in den loop van een geheel jaar, slechts eene enkele draaijing plaats. Men ziet derhalve, dat de wijze, waarop de wind zich in de keerkringen verhoudt, het eenvoudigste geval van de wet der draaijing van den wind daarstelt.

Stormen. De stormen zijn gevolgen eener belangrijke stoornis 125
in het evenwigt van den dampkring, en hoogst waarschijnlijk is deze stoornis afhankelijk van eene snelle condensatie der waterdampen, gelijk wij dit reeds vroeger hebben uiteengezet.

Nieuwere onderzoekingen hebben aangetoond, dat de stormen meestal te beschouwen zijn als groote voortgaande wervelwinden.

Fig. 513.



In de keerkringsstreken woeden de stormen veel heviger da op hoogere breedten; de vernielingen, welke de orkanen aan-

rigten, waaraan men in *Amerika* den naam geeft van *Tornados*, zijn wezenlijk verschrikkelijk. Zoo werden b. v. door den storm, die op den 25sten Julij *Guadeloupe* verwoestte, stevig gebouwde huizen omgesleurd, kanonnen werden voortgeslingerd tot aan de borstwering der batterij, op welke zij geplaatst waren; een plank van ongeveer 3 voet lengte, 8 duim breedte en 10 lijn dikte werd met eene zoodanige snelheid door de lucht gedreven, dat de stam van eenen palmboom, die ongeveer 17 duim diameter had, door dien plank werd doorgesneden.

Vaak ziet men bij rustig weder, dat er zand en stof door den wind in eene wervelende beweging worden voortgevoerd. Bij het naderen van onweders ziet men reeds grootere zoodanige luchtwervelingen, die stof, bladeren, stroo, enz. mede omhoog voeren. De *hoozen* zijn niets anders dan zoodanige wervelwinden op eene groote schaal; zij worden doorgaans voortgebragt door den kamp van twee winden in de hoogere luchtstreken, die in tegenovergestelde rigting waaijen. Zij stellen gewoonlijk eenen dubbelen kegel daar; het bovenste gedeelte, wiens top naar beneden gerigt is, bestaat uit eene wolk, terwijl de onderste kegel, wiens top naar boven gerigt is, uit water bestaat, ingeval namelijk dit luchtverschijnsel ontstaat boven de zee of boven stroomen en rivieren, of wel de onderste kegel bestaat uit zand en andere vaste ligchamen, als de hoos boven het land wordt gevormd. Door hoozen kunnen boomen worden ontworteld, de daken van de huizen worden afgescheurd, balken op eenige honderde schreden afstands worden voortgeslingerd, enz. Door waterhoozen, fig. 513, kan het water vaak ter hoogte van eenige honderde voeten worden opgetrokken.

DERDE HOOFDSTUK.

Over de vochtigheid van den dampkring.

126 **Verbreiding van de waterdamp in de lucht.** Als men op eenen warmen zomerdag eene met water gevulde schaal aan de vrije lucht bloot stelt, dan ziet men, dat de hoeveelheid van het water snel vermindert, het verdampt, d. i. het gaat over in den vorm van damp en verbreidt zich in de lucht. De waterdamp is even als ieder ander kleurloos en doorzigtig gas voor onze blikken onzigtbaar, en het water schijnt, terwijl het verdampt, geheel en al te zijn verdwenen.

Het water, dat in de lucht verbreid is, wordt eerst weder zigtbaar, wanneer het, tot den druipend vloeibaren staat terug-

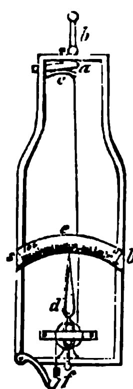
keerende, nevels of wolken, dauw of rijp vormt. Om zich van het bestaan van waterdamp in de lucht te overtuigen, moet men hem op de eene of andere wijze verdigten.

Geheel onmiddellijk krijgt men de hoeveelheid van den in een bepaald volumen bevatten waterdamp, indien men de lucht laat heenstrijken door eene buis, die met hygroscopische zelfstandigheden is opgevuld. Ten einde het doorstrijken der lucht door de buis regelmatig te doen plaats hebben, bezigt men eenen *aspirator*. Dit werktuig bestaat in de hoofdzaak uit een vat met twee openingen, dat met water gevuld is: uit de eene opening vloeit door eene buis gestadig water af, en de andere opening is in vereeniging met de buis, door welke de lucht heenstrijkt, zoodat hier even zooveel drooge lucht in het vat komt, als het volumen water bedraagt, dat door de andere buis wegvloeit. Men vindt de hoeveelheid waterdamp, die bevat was in de door de buis getogen lucht, als men de buis met de hygroscopische stoffen vóór en na de proef weegt.

Deze wijze, om het watergehalte der lucht te bepalen, door middel van den aspirator, dien men nu eens meer, dan weder minder doelmatig heeft ingerigt, is wel eenigzins omslagtig, en geeft ook niet het watergehalte der lucht op een bepaald oogenblik aan, maar het gemiddelde watergehalte gedurende den geheelen tijd van de proef. Men heeft daarom kleinere, gemakkelijker vervoerbare toestellen vervaardigd, waaraan men den naam van *hygrometers* heeft gegeven.

Het is bekend, dat vele organische ligchamen de eigenschap bezitten, om waterdamp op te slorpen en daarbij betrekkelijk langer te worden. Onder anderen zijn ook haar, balein, enz. zulke hygroscopische ligchamen, en deze worden daarom gebezigd voor de vervaardiging van hygrometers.

Fig. 514.



Het beste werktuig van dien aard is de door SAUSSURE aangegeven *haarhygrometer*, die in fig. 514 is afgebeeld.

Het haar is met zijn eene bovenste uiteinde bevestigd aan een stiftje, en het andere einde is geslagen om eene katrol, met twee groeven voorzien. In de tweede groeve van die katrol is een zijden draad bevestigd, aan welken een klein gewigtje *f* hangt, waardoor het haar bestendig gespannen gehouden wordt. Aan de as der katrol is een wijzer *d* bevestigd, die voor den graadboog *sh* heen en weder gaat, als de katrol door de verlenging of de verkorting van het haar wordt rondgedraaid.

Indien het werktuig in eene vochtige lucht geplaatst is, dan absorb[illegible] het haar veel waterdamp en wordt daardoor langer; in ee[illegible] .ooge lucht daarentegen wordt het korter, waardoor natu[illegible] de wijzer nu naar de eene en dan naar de andere zijde g[illegible] aid wordt.

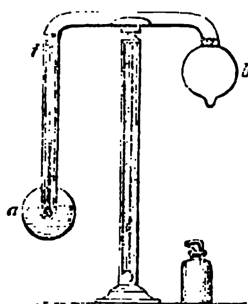
Het werktuig wordt op de volgende wijze gegradueerd: eerst brengt men het onder eene klok, in welke de lucht door chloorcalcium en door zwavelzuur droog gemaakt is. Die plaats der schaal, op welke de wijzer dan blijft staan, is het punt van grootste droogte, en wordt door 0 aangeduid. Vervolgens brengt men het werktuig onder eene klok, wier wanden met gedestilleerd water zijn bevochtigd, terwijl ook de bodem, op welken de klok staat, eveneens daarmede bevochtigd is. De lucht in deze klok is nu met waterdamp verzadigd, en de wijzer gaat naar het einde der schaal. Het punt, waarop hij dan blijft staan, is het punt van grootste vochtigheid, en wordt door 100 aangeduid.

De afstand tusschen deze twee punten wordt verdeeld in 100 gelijke deelen, die men *vochtigheidsgraden* noemt.

De verhoudingen tusschen deze graden en het watergehalte der lucht moeten aan ieder werktuig bepaald worden door proeven, die wij hier niet nader kunnen beschouwen.

127 **De hygrometer van Daniell** is afgebeeld in fig. 515. Zij bestaat uit eene kromme buis, die in twee bollen eindigt; de eene *a* is of verguld, of met eene zeer dunne laag platina bedekt, de andere is met een lapje fijn linnen omwikkeld. De bol *a* is voor de helft gevuld met aether, en bevat eenen kleinen thermometer, die in de buis *t* uitsteekt. De toestel is volkomen luchtledig. Als men nu aether druppelt op den bol *b*, dan wordt hij door de verdamping van den aether verkoeld, in het binnenste van den bol worden aetherdampen gecondenseerd en hierdoor ontstaat eene verdamping van den aether in den bol *a*, dewijl de aether uit den warmeren bol *a* in den kouderen *b* wordt overgehaald. Bij de vorming van damp in den bol *a* wordt nu eveneens warmte gebonden, en op dezen bol slaat zich eindelijk een fijne dauw neder.

Fig. 515.



Het ontstaan van dezen dauw laat zich gemakkelijk verklaren. Wij hebben vroeger reeds gezien, dat in eene luchtledige ruimte de spankracht van den waterdamp bij eene bepaalde temperatuur niet boven eenen zekeren grens kan gaan, dat het maximum der spankracht toeneemt met de temperatuur. Voor eene temperatuur van 20° b.v. is het maximum der spankracht van den waterdamp 17,3 millemeters, en de daaraan beantwoordende digtheid van den waterdamp 0,00001718; in eene luchtledige ruimte van 1 kub. el kunnen derhalve bij eene temperatuur van 20° hoogstens 17,18 wigtjes water als damp bevat zijn.

Wij hebben echter verder nog gezien, dat er in eene met zigtbaar, ulde ruimte juist even zooveel waterdamp kan bevat

[redacted]

zijn, als in eene even groote luchtledige ruimte, en dat in dit geval de spankracht der lucht en de spankracht van den hierin verbreiden waterdamp zich bij elkander voegen. Bij eene temperatuur van 20° kunnen er dus in eene kubieke el lucht eveneens 17,18 wigtjes water als damp bevat zijn.

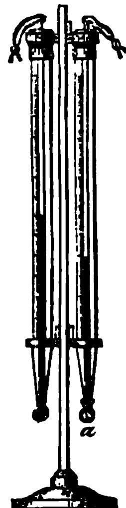
Men zegt, dat de lucht met waterdamp *verzadigd* is, wanneer de in haar verbreide waterdamp het aan zijne temperatuur beantwoordende maximum van spankracht en digtheid bereikt heeft.

Zoo men een kouder ligchaam brengt in eene met vocht verzadigde lucht, dan zullen hierdoor de naastbijgelegene luchtlagen verkoeld worden, een gedeelte van den hierin bevatten waterdamp zal zich moeten verdigten, en zet zich onder de gedaante van fijne droppels op de koude ligchamen af. Op deze wijze ontstaat het beslag op de vensterruiten in eene bewoonde verwarmde kamer, als de temperatuur der buitenlucht laag genoeg is, om de vensterruiten genoeg te bekoelen.

Niet altijd is de lucht met vocht verzadigd, d.i. zij bevat niet altijd volkomen zooveel waterdamp, als zij bij hare temperatuur zou kunnen opnemen. Stellen wij b.v. dat elke kubieke el lucht bij eene temperatuur van 20° slechts 13,63 wigtjes waterdamp bevat, dan is deze lucht niet verzadigd, want immers bij deze temperatuur zou elke kubieke el lucht 17,18 wigtjes waterdamp kunnen bevatten.

De temperatuur, op welke de verdigting van den waterdamp eenen aanvang neemt, — derhalve de temperatuur, voor welke de lucht juist met waterdamp is verzadigd, wordt het *dauwpunt* genoemd.

Fig. 516.



Het is nu het dauwpunt, dat met den hygrometer van DANIELL wordt waargenomen. Zoodra namelijk de bol *a* tot op de temperatuur van het dauwpunt bekoeld is, begint deze bol beslagen te worden; de temperatuur van het dauwpunt kan onmiddellijk aan den thermometer in den bol *a* worden afgelezen.

Door middel van eene tabel, in welke het maximum van het watergehalte in eene ruimte van 1 kubieke el voor elken temperatuurgraad is aangegeven, kan men onmiddellijk het watergehalte der lucht vinden, dat aan het waargenomen dauwpunt beantwoordt.

De psychrometer van August is afgebeeld in fig. 516; 128
hij bestaat uit twee thermometers, die aan eenen standaard zijn bevestigd; de bol van den eenen thermometer is omwikkeld met een fijn lapje linnen, terwijl de bol van den anderen vrij blijft. Zoo men het lapje om den eenen thermometerbol met water bevochtigt, dan zal dat water verdampen, en deze verdamping zal des te sneller plaats grijpen, hoe verder de lucht van haar verzadigingspunt is verwijderd. De

verdamping van het water gaat echter gepaard met binding van warmte, ten gevolge waarvan de omwikkelde thermometer daalt. Indien de lucht volkomen met vocht verzadigd is, dan zal er geen water kunnen verdampen, en de beide thermometers staan dan even hoog; maar, zoo de lucht niet met waterdamp verzadigd is, dan zal de omwikkelde thermometer dalen, en wel des te meer, hoe verder de lucht van haar verzadigingspunt verwijderd is. Uit het verschil in temperatuur der beide thermometers, kan men dan besluiten tot den graad van vochtigheid der lucht.

Dagelijksche en jaarlijksche wisselingen in het watergehalte der lucht.

Dewijl er bij eene hooge temperatuur meer waterdamp in de lucht verbreid kan zijn, en dewijl bij het toenemen der temperatuur het water aan de oppervlakte van stroomen en van eenen vochtigen grond meer verdampt, kan men wel verwachten, dat het watergehalte der lucht in den loop van eenen dag zal af- en toenemen.

Door onderzoekingen met de boven beschreven werktuigen heeft men bevonden, dat over het algemeen de hoeveelheid waterdamp in de lucht vermeerdert, wanneer bij het opkomen der zon de temperatuur rijst; doch deze vermeerdering duurt slechts tot 9 uur. De omhoog rijzende luchtstroom, die dan door de sterke verwarming van den grond wordt te weeg gebragt, voert de dampen mede omhoog, zoodat het watergehalte der onderste luchtlagen kleiner wordt, niettegenstaande bij de steeds toenemende warmte de vorming van dampen aanhoudt. Deze vermindering duurt tot omstreeks 4 uur; en dan neemt het watergehalte der onderste luchtlagen weder toe, omdat nu de naar boven gerigte luchtstroom ophoudt, den telkens gevormden waterdamp weg te voeren. En deze toename eindelijk duurt weder slechts tot des avonds 9 uur, omdat nu de verdere vorming van dampen belet wordt door het voortdurend dalen der temperatuur.

In den winter, wanneer de werking der zon minder krachtig is, gaat het anders, dan hier boven is voorgedragen: in Januarij neemt men enkel *een* maximum van het watergehalte der lucht om 2 uur des namiddags waar, en *een* minimum bij het opkomen der zon.

Wij noemen de lucht „droog", wanneer het water snel verdampt en wanneer bevochtigde voorwerpen door deze snelle verdamping spoedig droog worden. Daarentegen zeggen wij dat de lucht „vochtig" is, wanneer reeds de minste verlaging van temperatuur het neêrslaan van vocht te weeg brengt, en wanneer eenigzins koudere voorwerpen met vochtigheid bedekt worden. Wij noemen derhalve de lucht droog, als zij ver van haar verzadigingspunt is verwijderd, en daarentegen vochtig, als het dauwpunt zeer digt bij de temperatuur der lucht is gelegen. Met deze uitdrukkingen van droogte en vochtigheid der lucht verbinden wij derhalve volstrekt geen oordeel over

[redacted]

het absolute watergehalte der lucht. Wanneer op eenen warmen zomerdag, bij eene temperatuur van 25°C elke kubieke el lucht 13 wigtjes waterdamp bevat, dan zeggen wij dat de lucht zeer droog is, want bij deze temperatuur zou elke kubieke el lucht 22,5 wigtje waterdamp bevatten, of de lucht zou bekoeld moeten worden tot op 15° C, om bij het onveranderde watergehalte verzadigd te zijn. Indien zij daarentegen in den winter, bij eene temperatuur van + 2° slechts 6 wigtjes waterdamp bevat, dan is de lucht zeer vochtig, omdat de lucht voor de heerschende temperatuur bijkans volkomen met waterdamp verzadigd is, en de geringste verlaging van temperatuur reeds een nederslag van het water uit de lucht te weeg brengt.

In dezen zin kunnen wij zeggen, dat de lucht het vochtigst is bij het opkomen der zon, ofschoon het absolute watergehalte kleiner is, dan op elken anderen tijd van den dag. Omstreeks 3 uur van den namiddag is de lucht in den zomer het droogste.

Het absolute watergehalte der lucht vertoont, even als de gemiddelde temperatuur der lucht, in Januarij een minimum, het neemt toe tot aan Julij, wanneer het zijn maximum bereikt, en neemt dan weder af tot aan het einde van het jaar.

Ofschoon nu het watergehalte der lucht in den zomer grooter is dan in den winter, zegt men toch, dat de lucht in den zomer drooger is, omdat zij in den zomer verder van haar verzadigingspunt is verwijderd.

Vochtigheid der lucht in onderscheidene streken. De vorming van 129
den waterdamp is voornamelijk afhankelijk van twee voorwaarden, namelijk van de temperatuur en van de aanwezigheid van water. Bij eenen onbepaalden voorraad van water, zullen er des te meer waterdampen gevormd worden, hoe hooger de temperatuur is; bij eene gelijke temperatuur zullen er daarentegen meer dampen gevormd kunnen worden in streken die rijk aan water zijn, dan in die, welke daarvan weinig bevatten. Hieruit volgt nu, dat het absolute watergehalte der lucht, onder overigens gelijke omstandigheden, van den aequator naar de polen moet afnemen, en dat de lucht in het binnenste van groote vaste landen drooger, d.i. verder van haar verzadigingspunt verwijderd moet zijn, dan op de zee en aan zeestranden. Hoezeer de droogte der lucht toeneemt met toenemenden afstand van de zee, bewijst reeds de helderheid van den hemel in de binnenlanden.

De dauw. Boven op bladz 520 is reeds verklaard, hoe het 130
komt, dat de fijne dauw op den glinsterenden bol van den hygrometer van DANIELL ontstaat, wanneer deze bol verkoeld wordt. Op dezelfde wijze kan men het ontstaan van den dauw in het groot verklaren.

Wanneer in den zomer na den ondergang der zon de hemel helder en de lucht rustig blijft, dan zullen de voorwerpen op de oppervlakte der aarde door de, gedurende den nacht plaats

grijpende, uitstraling van warmte naar de hemelruimte meer en meer verkoelen; hunne temperatuur daalt dan tot 2, 3, ja vaak tot 7 à 8° beneden de temperatuur der lucht; deze koudere voorwerpen verlagen ook de temperatuur der luchtlagen, welke het meest in hunne nabijheid zijn; en als deze tot aan het dauwpunt bekoeld zijn, dan zal een gedeelte van den in haar bevatten waterdamp zich onder de gedaante van fijne droppels op de koude ligchamen afzetten.

Dewijl alle ligchamen niet hetzelfde vermogen tot uitstraling der warmte bezitten, bekoelen ook eenige meer dan andere, en hierdoor komt het, dat vele ligchamen sterk bezet zijn met dauw, terwijl andere bijkans geheel droog blijven. Het gras en de bladeren bekoelen vooral sterk door de nachtelijke uitstraling, gedeeltelijk omdat zij een zeer sterk uitstralingsvermogen bezitten, en gedeeltelijk ook, omdat zij vrij in de lucht uitsteken, zoodat er van den grond slechts weinig warmte naar hen kan worden heengeleid; en zij zijn daarom sterker bedauwd dan steenen en de naakte grond.

Door eenen bewolkten hemel wordt het ontstaan van dauw verhinderd, omdat hierdoor de nachtelijke uitstraling verhinderd wordt. Ook als er een slechts eenigzins levendige wind waait, dauwt het niet, omdat deze bestendig nieuwe warme lucht met de vaste ligchamen in aanraking brengt. Hierdoor wordt er aan deze voortdurend warmte toegevoerd, en de lucht strijkt hun voorbij, eer zij tot aan het dauwpunt kan worden bekoeld.

De *rijp* is niets anders dan bevroren dauw. Wanneer het ligchaam, op hetwelk de gecondenseerde waterdamp zich afzet, beneden 0° bekoeld is, dan kan de waterdamp zich niet meer afzetten onder eenen druipend vloeibaren vorm, maar wordt als ijsnaalden afgezet.

131 **Nevels en wolken.** Indien de waterdampen, die uit eenen ketel met kokend water oprijzen, zich in de koudere lucht verbreiden, dan worden zij onmiddelijk verdigt, en hierdoor ontstaat een damp die uit eene menigte kleine holle waterblaasjes bestaat, welke in de lucht zweven. Dit is in den natuurkundigen zin van het woord eigenlijk geen damp meer, maar een verdigt watergas.

Wanneer de verdigting der waterdampen niet plaats grijpt door de aanraking van koude, vaste ligchamen, maar in de lucht, dan ontstaan er nevels, die in het groot hetzelfde zijn als de damp, dien wij boven kokend water zagen ontstaan.

De nevels ontstaan gewoonlijk, wanneer het water van zeeën en rivieren of de vochtige grond warmer zijn dan de reeds met vocht verzadigde lucht. De dampen, die ten gevolge der hoogere temperatuur van het water of van den vochtigen grond gevormd worden, verdigten zich spoedig weder, als zij zich in de koudere, reeds met waterdampen verzadigde lucht verspreiden. Bij een gelijk verschil in temperatuur van het water en der lucht, worden geene nevels gevormd, wanneer de lucht

[redacted]

droog is, zoodat zich al de waterdampen, die van den grond oprijzen, in haar kunnen verbreiden, zonder dat zij verzadigd wordt.

Na datgene, wat boven over de vorming van den nevel gezegd is, laat zich gemakkelijk verklaren, dat de nevels voornamelijk in den herfst, boven rivieren en zeeën, en boven vochtige weiden ontstaan. In *Engeland* komen de nevels bijzonder menigvuldig voor, omdat dit land omspoeld wordt door eene warme zee. Evenzoo is het warme water van den golfstroom, dat tot naar *Newfoundland* heenstroomt, de oorzaak van het daar zoo menigvuldig ontstaan van digte nevels.

Menigmaal ziet men nevels ontstaan onder schijnbaar zeer verschillende omstandigheden. Zoo ziet men nevels boven rivieren, terwijl de lucht warmer is dan het water of het ijs. In dit geval is de warme lucht verzadigd met vochtigheid, en als zij zich nu vermengt met die luchtlagen, die door de aanraking met het koude water of het ijs eene lagere temperatuur hebben gekregen, dan moet er noodzakelijk eene condensatie van den waterdamp volgen.

Op dezelfde wijze ontstaan ook in den zomer na onweêrsregens de nevels boven rivieren en zeeën. De lucht is warmer dan de oppervlakte van het water, maar zij is met vocht verzadigd, en zoodra zij zich nu verbreidt op plaatsen, die onder den invloed van het water bekoeld zijn, dan wordt de waterdamp hierdoor verdigt.

De nevel wordt echter niet enkel boven rivieren en zeeën gevormd, maar ook midden in het land, wanneer door luchtstroomen warmere vochtige luchtmassa's met koudere vermengd worden, en hare temperatuur beneden het dauwpunt verlaagd wordt.

De wolken zijn niets anders dan nevels, welke in de hoogere streken der lucht zweven, zoo als dan nevels eigenlijk niets anders zijn dan wolken, die op den grond zweven. Vaak ziet men de toppen der bergen in wolken gehuld, terwijl de beklimmers van die toppen meenen, zich te midden van eenen nevel te bevinden.

Op het eerst schijnt het onbegrijpelijk, hoe het mogelijk is, dat de wolken in de lucht kunnen zweven, daar zij toch uit blaasjes bestaan, die natuurlijk zwaarder zijn dan de omgevende lucht. Dewijl het gewigt van deze kleine waterblaasjes met betrekking tot hunne oppervlakte zeer gering is, moet de lucht aan hunnen val eenen aanmerkelijken weêrstand bieden; zij kunnen dus in allen gevalle maar zeer langzaam dalen, even als immers ook eene zeepbel, die met onze dampbellen eene groote overeenkomst heeft, in eene stille lucht slechts zeer langzaam valt. Derhalve moeten dan ook de dampblaasjes, al is het dan ook nog zoo langzaam, dalen, en men zou dus kunnen verwachten, dat bij stil weder de wolken toch eindelijk tot op den grond zouden moeten dalen.

De dampblaasjes, die bij stil weder wel degelijk nederdalen, kunnen echter den grond niet bereiken, omdat zij spoedig aankomen in warmere, niet met dampen verzadigde luchtlagen,

in welke zij weder in damp overgaan, en voor het oog verdwijnen. Terwijl nu beneden de dampblaasjes oplossen, worden er aan de bovenste grens nieuwe gevormd, en hierdoor schijnt de wolk onbewegelijk in de lucht te zweven.

Deze beschouwing van de beweging der dampblaasjes geldt voor eene rustige lucht. In eene lucht die in beweging verkeert, zullen zij de rigting van den luchtstroom moeten volgen. Een wind, die in horizontale rigting waait, zal ook de wolken in eene horizontale rigting voortvoeren, en een omhoog gaande luchtstroom zal ze mede omhoog voeren, zoodra zijne snelheid grooter is dan de snelheid, met welke de dampblaasjes in eene rustige lucht naar beneden zouden vallen. Immers wij zien toch ook, dat de zeepbellen door den wind weggevoerd en over huizen heen gedragen worden. Op dezelfde wijze moet ook uit het rijzen van luchtstroomen het rijzen van den nevel verklaard worden.

Het voorkomen der wolken verschilt zeer veel, naar mate zij hooger of lager zweven, naar mate zij meer of minder digt bij zijn, op deze of gene wijze verlicht zijn, enz.

HOWARD onderscheidt voor de wolken de volgende hoofdsoorten:

1°. De *vederwolk*, *cirrus*, bestaat uit zeer fijne, nu eens meer streepsgewijze, dan meer lok- of vedervormige vezelen, die na schoon weder het eerst aan den hemel voorkomen. In onze fig. 517 ziet men haar in den hoek aan de regterzijde, van boven, waar de twee vogels vliegen. Bij droog weder zijn de vederwolken meer gestreept, bij vochtig weder meer in elkander gevloeid.

2°. De *hoopwolk*, *cumulus*, die in onze figuur juist onder de vederwolk is afgebeeld, stelt groote, half kegelvormige massa's daar, die zich voordoen, alsof zij op eene horizontale basis rusten. Deze wolken doen zich vooral voor in den zomer, vaak hoopen zich hoopwolken tot schilderachtige groepen bijeen, en bieden dan, als zij door de zon beschenen worden, het voorkomen aan van in de verte gelegen sneeuwgebergten.

3°. De *laagsgewijze wolken*, *stratus*, zijn horizontale wolkstrepen (in onze figuur onder den cumulus), die zich vooral met eene buitengewone kleurenpracht bij zonsondergang voordoen.

Deze grondvormen gaan op velerlei wijzen in elkander over; HOWARD heeft aan deze overgangsvormen de namen gegeven van *cirro-cumulus*, *cirro-stratus* en *cumulo-stratus*.

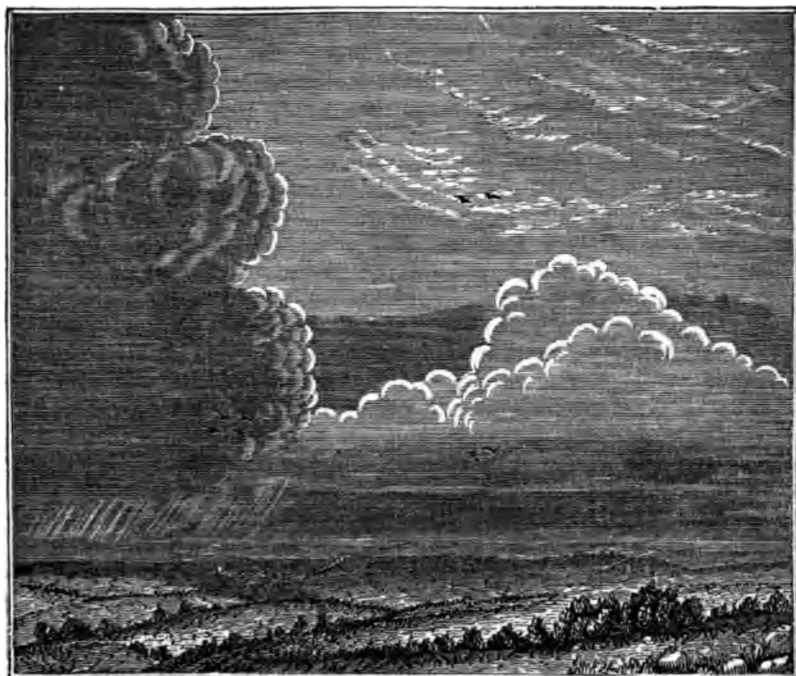
De *vederachtige hoopwolk*, *cirro-cumulus*, is de overgang van de vederachtige tot de hoopwolk; het zijn die kleine, nette, ronde wolkjes, die algemeen bekend zijn onder den naam van *schaapskudde*.

Als de vederachtige wolken niet afzonderlijk en verstrooid, maar tot strepen van eene aanmerkelijke uitgebreidheid met elkander verbonden zijn, dan stellen zij de *vederachtige laagsgewijze wolken*, *cirro-stratus*, daar, die, wanneer zij digt bij den horizont zijn, het voorkomen van uitgebreide lagen aanbieden; vaak bedekken de cirro-stratus den geheelen hemel als met

[redacted]

een sluijer. Zoo de hoopsgewijze wolken digter worden, gaan zij in de *streepsgewijze hoopwolken*, *cumulo-stratus*, over, die

Fig. 517.



dikwijls aan den geheelen horizont eene blaauwzwarte tint geven, en eindelijk overgaan in de *regenwolk*, *nimbus* (in onze figuur aan de linkerzijde).

Als men bedenkt, hoe uiterst verschillend de gedaante zoowel als de kleur der wolken kunnen zijn, dan valt het gemakkelijk te begrijpen, dat het vaak moeijelijk moet zijn om te beslissen, of eene wolk, naar haar voorkomen, meer tot den eenen of tot den anderen typus moet worden gebragt.

Onder al de wolken zijn de vederachtige de hoogste, want op hooge bergen gezien, bieden zij nog hetzelfde voorkomen aan als in het dal. Kaemtz heeft te *Halle* hare hoogte bij benadering bepaald op 20000 voet. Het is hoogst waarschijnlijk, dat de cirrus niet uit nevelblaasjes, maar uit sneeuwvlokjes bestaat.

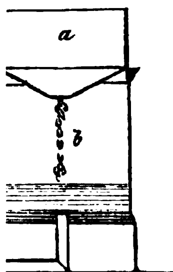
De hoopsgewijze wolken ontstaan gewoonlijk dan, wanneer door den opstijgenden luchtstroom de waterdampen in de hoogte worden gevoerd, en daar, ten gevolge van de lagere temperatuur, worden verdigt. Hiervan komt het, dat er vaak tegen den middag wolken ontstaan, terwijl de zon des morgens aan eenen helderen hemel is opgegaan, en terwijl tegen den avond de hemel weder helder wordt, omdat de wolken nederdalen,

ke zij weder in damp overgaan, en voor het oog ver-
n. Terwijl nu beneden de dampblaasjes oplossen, worden de bovenste grens nieuwe gevormd, en hierdoor schijnt lk onbewegelijk in de lucht te zweven.

e beschouwing van de beweging der dampblaasjes geldt ene rustige lucht. In eene lucht die in beweging ver- zullen zij de rigting van den luchtstroom moeten volgen. ind, die in horizontale rigting waait, zal ook de wolken horizontale rigting voortvoeren, en een omhoog gaande oom zal ze mede omhoog voeren, zoodra zijne snelheid is dan de snelheid, met welke de dampblaasjes in eene lucht naar beneden zouden vallen. Immers wij zien to... t de zeepbellen door den wind w... dragen worden. Op dezelfde ...mhoog zijn de reg...ppels htstroomen het rijzen worden onder het vallen grooter, voorkomen dege van hunne lagere temperatuur, de water- er of ...digten van de luchtlagen, door welke zij heen vallen.

veelheid van den regen. De hoeveelheid van den regen, die ende den loop van een jaar op eenige plaats der aarde s voor de meteorologie een hoogst gewigtig element. De uigen, welke men ter bepaling daarvan bezigt, worden *regenmeters*, *ombrometers* of *udometers* genoemd. In fig. 518 is de gewone regenmeter afgebeeld; hij bestaat uit eenen cilinder van blik *b*, die eenen diameter heeft van 15 a 20 duim en waarop een tweede cilinder *a*, geplaatst is, die aan het ondereinde trechtervormig uitloopt, en hier eene opening heeft, door welke al het water, dat bij het vallen van den regen in den cilinder *a* wordt opgevangen, naar den cilinder *b* wordt gevoerd. Door eene kromme buis *c* staat de vergaderbak *b* in verbinding met eene glazen *l*, door welke men op ieder oogenblik kan zien, hoe hoog vater in *b* staat. Gesteld, dat de diameter van *a* en *b* zijn, dan geeft de hoogte des waters in *b* aan, tot op welke e de grond in eenen bepaalden tijd met water zou zijn t, zoo het niet door den grond opgeslorpt of verdampt ware.

Fig. 518.



jaarlijksche hoeveelheid regen bedraagt:

te	Lissabon.	25 Par. duim
„	Dover	44 „ „
„	Londen	23 „ „
„	Parijs	21 „ „
„	Regensburg.	21 „ „
„	Bergen	83 „ „
„	Stokholm	19 „ „
„	Petersburg	17 „ „
„	Genua	44 „ „
„	Rome.	29 „ „

[redacted]

hoeveelheid regen is echter niet gelijkmatig over het jaar verdeeld; in dit opzigt kan men Europa in drie verdeelen.

…*ngeland*, op de westelijke kust van *Frankrijk*, in de *Ne*… *en* en in *Noorwegen* heerschen voornamelijk de herfstregens. …*uitschland*, de westelijke streken der Rijnprovincien, …*ken* en *Zweden* zijn de zomerregens de voorheerschende. …merregens komen bijkans in het geheel niet voor in …elijke gedeelte van *Frankrijk*, in *Italie*, het zuiden van … en in het algemeen in die gedeelten van *Europa*, … digst bij *Afrika* zijn gelegen.

…tantal der *regendagen* gedurende een jaar, neemt in … over het algemeen van het zuiden naar het noorden toe. Gemiddeld komen op het jaar:

in het zuiden van *Europa*	120	regendagen
„ midden „ „	146	„
„ noorden „ „	180	„

Het is duidelijk, dat de hoeveelheid van den regen niet enkel afhankelijk kan wezen van het aantal der regendagen, want immers het is niet enkel de vraag, hoeveel dagen het regent, maar ook, hoeveel het regent. Wanneer in noordelijker streken het aantal regendagen toeneemt, dan neemt daarentegen de intensiteit van den regen over het algemeen af, en hieruit laat het zich verklaren, dat b. v. te *Petersburg* het aantal der regendagen wel grooter is, maar de hoeveelheid regen kleiner dan b. v. te Rome. Met den afstand van de zee, neemt zoowel de hoeveelheid regen, als ook het aantal der regendagen af. Zoo komen b. v. gemiddeld

te *Petersburg*	168
„ *Kasan*	90
„ *Jakuzk*	60

regendagen op het geheele jaar.

Even als onder overigens gelijke omstandigheden de regen in warmere streken rijkelijker is dan in koudere, zoo is hij ook in het warme jaargetijde sterker dan in het koudere. Gemiddeld komen in *Duitschland* op den winter 38, op den zomer 42 regendagen voor. Het aantal der regendagen is derhalve in den zomer naauwelijks iets grooter dan in den winter, en toch is de hoeveelheid van den regen in den zomer ongeveer tweemaal grooter dan in den winter. In de zomermaanden valt er dikwijls bij een enkel onweder meer regen, dan anders in eenige weken.

Regen tusschen de keerkringen. In die streken, waar de pasaat- 133
winden met groote regelmatigheid waaijen, is de hemel meestal helder en regent het zelden, vooral wanneer de zon boven het andere halfrond staat. Op de vaste landen echter, wordt de regelmatigheid van den passaat gestoord door de intensiteit van den opstijgenden luchtstroom, zoodra de zon het zenith nadert. Omtrent dezen tijd stelt er zich ook een zeer regenachtig weder in, dat gedurende eenige maanden aanhoudt, ter-

wijl gedurende de andere helft van het jaar de hemel helder en de lucht droog is.

HUMBOLDT heeft ons de verschijnselen van het vochtige jaargetijde in het noordelijke gedeelte van *Zuid-Amerika* beschreven. Van December tot aan Februarij is de lucht droog en de hemel helder. In Maart wordt de lucht vochtiger, de hemel minder helder, de passaatwind waait minder sterk, en dikwijls is de lucht geheel rustig. Met het einde van Maart beginnen de onweders; zij ontstaan des namiddags, als de hitte het grootste is, en gaan gepaard met hevige regenvlagen.

Tegen het einde van April begint het eigenlijke vochtige jaargetijde; de hemel wordt gelijkmatig graauw, en het regent dagelijks van des morgens 9 uur tot des namiddags 4 uur; des nachts is de hemel meestal helder. De regen wordt het sterkst, als de zon in het zenith staat. Langzamerhand wordt de tijd van den dag, op welken het regent, altijd korter, en tegen het einde van den regentijd regent het enkel des namiddags.

De duur van den regentijd is in verschillende streken niet dezelfde, zij bedraagt 3 tot 5 maanden.

In *Oost-Indie*, waar de regelmatigheid der passaatwinden door plaatselijke omstandigheden gestoord is, en waar in hare plaats de moussons waaijen, vinden wij ook, dat de regens zich abnormaal verhouden. Aan de bergachtige westkust van het voorste gedeelte van *Indie* valt de regentijd zamen met den tijd van onzen winter; hij valt namelijk in op dien tijd, waarop de zuidwest moussons waaijen en, met vochtigheid beladen, tegen de hooge gebergten stooten. Terwijl het op de kust van *Malabar* regent, is de hemel aan de oostkust van *Coromandel* helder: hier stelt de regentijd zich in met den noordoostpassaat, en dus juist op dien tijd, op welken aan de westkust het drooge jaargetijde heerscht.

In de streek der windstilte vindt men deze periodische regens niet, maar hier komen bijkans dagelijks hevige regenvlagen voor. De omhoog gaande luchtstroom voert eene massa van waterdampen mede, die zich in de koudere streken der lucht weder verdigten. De zon gaat bijkans altijd bij eenen helderen hemel op, tegen den middag worden er enkele afgezonderde wolken gevormd, die steeds digter en digter worden, totdat hun eindelijk, meestal onder hevige windvlagen en electrische ontladingen, eene buitengemeene hoeveelheid regen ontstroomt. Tegen den avond worden de wolken verstrooid, en de zon gaat weder bij eenen helderen hemel onder.

De jaarlijksche hoeveelheid regen is over het algemeen in de keerkringstreken zeer groot; zij bedraagt b. v. te *Bombay* [illegible]3,5, te *Kandy* 68,9, te *Sierra Leona* 80,9, te *Rio Janeiro* 55,6, *St. Domingo* 100,9 te *Havana* 85,7 en in *Grenada* 105 [illegible]he duimen. Als men bedenkt, dat de regen meestal slechts [illegible]ige maanden verdeeld is, en dat het slechts op wei-[illegible] van den dag regent, dan is het duidelijk, dat de

„ R[illegible]

„

„

„

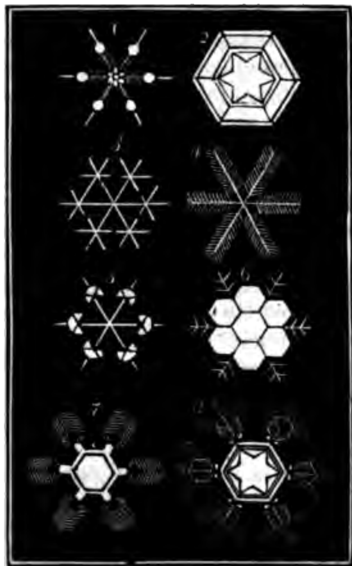
[redacted]

regen zeer sterk moet zijn. Te *Bombay* viel op eenen dag 6 duim, te *Cayenne* in 10 uren 10 duim regen. De regendroppels zijn zeer groot, en vallen met eene zoodanige snelheid naar beneden, dat zij op de naakte huid een gevoel van pijn veroorzaken.

Sneeuw en hagel. Over het ontstaan van de sneeuw weet men 134
tot heden nog zeer weinig. Waarschijnlijk bestaan de wolken, in welke de sneeuwvlokken het eerst gevormd worden, niet uit dampblaasjes, maar uit fijne ijskristalletjes, die door aanhoudende condensatie van waterdampen grooter worden, en op die wijze sneeuwvlokken daarstellen, die zelfs nog bij het vallen door de onderste luchtlagen grooter worden. Indien de onderste streken der lucht te warm zijn, dan smelten de sneeuwvlokken, eer zij den grond bereiken, en het regent dan beneden, terwijl het boven sneeuwt.

Reeds KEPPLER heeft de aandacht gevestigd op den regelmatigen vorm der sneeuwvlokken, dien men het best kan waarnemen, als men ze opvangt op een donker, beneden 0° bekoeld ligchaam. SCORESBIJ is in de gelegenheid geweest, om in de poolstreken eene menigte belangwekkende onderzoekingen omtrent de gedaante der sneeuwvlokken in het werk te stellen; zijn werk bevat ongeveer 100 verschillende figuren, van welke eenige der belangrijkste in fig. 519 zijn afgebeeld.

519



Reeds eene oppervlakkige beschouwing van deze figuren leert, dat al deze vormen hoofdzakelijk kunnen worden teruggebragt tot de regelmatige zeszijdige ster, waarom dus de sneeuwvlokken behooren tot het hexagonale kristalsijsteem (het kristalsijsteem van het bergkristal.

De *ijzel*, dien men gewoonlijk in Maart en in April waarneemt, ontstaat op dezelfde wijze als de sneeuw; de ijzelkorrels bestaan uit tamelijk vast zamen gehoopte ijsnaaldjes.

De *hagel*, een der vreesselijkste geessels voor den landman, is een der moeijelijkste verschijnselen voor den meteoroloog.

De gewone grootte der hagelkorrels is die van eene hazelnoot; zeer dikwijls vallen er kleinere, die, als minder gevaarlijk, niet bijzonder geteld worden, dikwijls zijn zij echter ook veel grooter, en verpletteren dan alles, waarop zij vallen.

Door geloofwaardige natuuronderzoekers zijn hagelkorrels waargenomen, die 24 tot 26 lood wogen.

De gedaante der hagelkorrels is zeer verschillend. Doorgaans zijn zij afgerond, doch menigmaal ook afgeplat of hoekig. In het midden der hagelkorrels ziet men gewoonlijk eenen ondoorzigtigen kern, die op de ijzelkorrels gelijkt. Deze kern is omgeven door eene doorzigtige ijsmassa, in welke men vaak afzonderlijke concentrische lagen kan onderscheiden. Soms ziet men afwisselende doorzigtige en ondoorzigtige lagen van ijs, en eindelijk heeft men ook reeds hagelsteenen met eene straalsgewijze structuur waargenomen.

POUILLET heeft gevonden, dat de temperatuur der hagelkorrels — 0,5 tot — 4° bedraagt.

De hagel gaat gewoonlijk den onweêrsregen vooraf, of vergezelt hem. Nooit, of ten minste bijkans nooit, volgt de hagel na den regen, vooral wanneer de regen eenigen tijd geduurd heeft.

Het hagelen duurt meestal slechts eenige minuten; zelden duurt het een kwartieruurs lang. De hoeveelheid ijs, die in eenen zoo korten tijd uit de wolken valt, is aanmerkelijk; menigmaal is de aarde er ter hoogte van eenige duimen mede bedekt.

De hagel valt meer bij den dag, dan bij nacht. De wolken, welke hem aanbrengen, schijnen eene aanmerkelijke uitgebreidheid en diepte te bezitten, want zij veroorzaken doorgaans eene groote duisternis. Men meent te hebben opgemerkt, dat zij eene eigenaardige graauw roodachtige kleur bezitten, dat er van hare onderste grenzen groote massa's van wolken afhangen, en dat hare randen zich als op velerlei wijze ingescheurd voordoen.

De hagelwolken schijnen meestal zeer laag te zweven. De bergbewoners zien dikwijls beneden zich wolken, welke de dalen met hagel als bedekken; het is echter niet met zekerheid uit te maken, of de hagelwolken altijd zoo laag dalen.

Eenige oogenblikken voor dat het hagelen begint, hoort men een eigenaardig ratelend geruisch. Eindelijk gaat de hagel steeds gepaard met electrische verschijnselen.

Wat de verklaring van den hagel betreft, ontmoet men hier twee zwarigheden, namelijk: van waar de groote koude komt, die het water doet bevriezen; en ten andere, hoe het mogelijk is, dat de hagelkorrels, als zij eenmaal zoo groot geworden zijn, dat zij eigenlijk door hun gewigt moesten vallen, nog zoo lang in de lucht kunnen blijven, dat zij tot eene zoo aanmerkelijke massa kunnen aangroeijen.

Wat de eerste vraag aanbelangt meende VOLTA, dat de zonnestralen aan de bovenste grens van de digte wolk bijkans volkomen moesten worden opgeslorpt, hetgeen eene snelle verdamping ten gevolge zou moeten hebben, vooral wanneer de lucht boven de wolken zeer droog is. Door deze verdamping zou er nu zooveel warmte gebonden worden, dat het water in de lager gelegene lagen van wolken bevriest. Doch, indien

de verdamping van het water in de bovenste wolkenlagen te weeg gebragt wordt door de warmte der zonnestralen, dan is het niet te begrijpen, waarom er door deze verdamping zooveel warmte aan de lagere wolkenlagen moet worden onttrokken.

Met betrekking tot de tweede vraag, werd door VOLTA eene in der daad vernuftige theorie voorgesteld, welke ook eene groote vermaardheid verworven heeft: hij neemt aan, dat er twee groote, met tegenovergestelde electriciteit geladen lagen van wolken boven elkander zweven. Wanneer nu de nog zeer kleine hagelkorrels op de onderste wolken vallen, dan zullen zij er tot op eene zekere diepte indringen, en met eene laag van ijs omgeven worden. Zij zullen echter ook met de electriciteit der onderste laag geladen, en door deze teruggestooten worden, terwijl zij door de bovenste laag worden aangetrokken. In weerwil van hunne zwaarte rijzen zij derhalve naar de bovenste wolk omhoog, waar nu hetzelfde proces zich herhaalt. Op deze wijze bewegen zij zich gedurende eenigen tijd tusschen de beide wolken heen en weder, totdat zij eindelijk naar beneden vallen, wanneer zij te zwaar worden en als de wolken hare electriciteit verliezen.

Tegen deze meening kan men inbrengen, dat het moeijelijk denkbaar is, hoe de electriciteit zonder eene plotselinge werking, en derhalve zonder eenen ontladingsslag, zulke groote massa's van ijs omhoog kan drijven; en dat, indien werkelijk de electrische lading der beide wolken ook nog zoo sterk zou zijn, de electriciteit onmiddelijk van de eene wolk op de andere zou moeten overgaan, vooral daar zij juist door de hagelkorrels in geleidende verbinding moesten worden gebragt.

VIERDE HOOFDSTUK.

Optische verschijnselen van den dampkring.

Kleur van den hemel. De heldere hemel komt ons *blaauw* voor, 135
en wel is dit blaauw naar gelang van de gesteldheid des dampkrings nu eens helderder en witter, dan donkerder. Op hooge bergen doet zich de hemel zeer donker blaauw, ja bijkans zwart voor. Dit is gemakkelijk te verklaren: zoo de lucht volstrekt doorzigtig ware, zoo de deeltjes der lucht ieder op zich zelve in het geheel geen licht terugkaatsten, of liever verstrooiden, dan zou de hemel zich aan ons volkomen zwart moeten voordoen, en de zon, de maan en de sterren zouden op dien zwarten grond schitteren. Nu echter kaatsen de deeltjes der lucht het licht terug, en hiervan komt het, dat bij den dag

de geheele hemel helder schijnt, omdat de deeltjes der lucht, door de zon beschenen, het licht naar alle zijden verstrooijen. Deze verlichting van den dampkring door de zonnestralen is de oorzaak, dat wij de sterren niet bij den dag kunnen zien. De deeltjes der lucht kaatsen voornamelijk het blaauwe licht terug, en daarom schijnt ons de op zich zelve donkere ruimte van den hemel met blaauw overtogen. Hoe hooger wij ons in den dampkring verheffen, des te dunner zal zich dit blaauwe bekleedsel en des te donkerder zal zich de hemel aan ons voordoen. Daarom schijnt ons ook de hemel in het zenith altijd het donkerst blaauw, en aan den horizont meer witachtig.

Het zuivere blaauw van den hemel wordt vooral door de in de lucht zwevende gecondenseerde waterdampen bleeker, als ook door fijne nevels, die vaak den hemel als met eenen ligten sluijer bedekken, zonder evenwel digt genog te zijn, om zich als wolken voor te doen.

De verschijnselen van het avond- en morgenrood werden verklaard uit de meening, dat de lucht voornamelijk de roode en geele stralen zou doorlaten, en de blaauwe stralen terugkaatsen; nu zouden de zonnestralen des avonds en des morgens eenen zeer grooten weg door den dampkring moeten afleggen, en hieruit verklaarde men de roode kleur der doorgelaten stralen, die vooral schitterend is, wanneer wolken door deze stralen verlicht worden.

Deze meening kan niet volkomen juist zijn, omdat het blaauw van den hemel volstrekt niet de complementaire kleur van het avondrood is. Het avondrood is waarschijnlijk afhankelijk van de in de lucht bevatte waterdampen.

Indien er uit de veiligheidsklep van eene stoommachine, b. v. van een locomotief, eene dampkolom omhoog rijst, dan ziet men door dezelve de zon donker oranjerood gekleurd. Digt boven de veiligheidsklep, uit welke de damp stroomt, is de kleur van dezen damp, voor doorgaand licht het vermelde donker oranjeroode; maar op grooteren afstand van de veiligheidsklep, als de damp reeds meer volkomen verdigt is, houdt dit verschijnsel geheel en al op. Zelfs bij eene matige dikte van de dampwolk, is deze geheel ondoordringbaar voor de zonnestralen, en werpt zij eene schaduw, even als een vast ligchaam; en als hare dikte gering is, dan is zij wel doorschijnend, maar geheel kleurloos. De oranjekleur van den damp schijnt derhalve voor te komen bij eenen bijzonderen trap van verdigting. In den volkomenen gasvorm is de waterdamp geheel doorzigtig en kleurloos, in den bedoelden overgangstoestand is hij doorzigtig en bevat eene met die van rook overeen komende roode kleur, maar als hij volkomen tot nevelblaasjes verdigt is, dan is hij bij geringe dikte doorschijnend en kleurloos, en bij grootere dikte volkomen ondoorzigtig.

In den vorm van eene zuivere, kleurlooze, veêrkrachtige vloeistof verkeerende, schenkt de waterdamp aan de lucht hare

grootste doorzigtigheid, gelijk men die vooral waarneemt, indien na eenen hevigen regen de hemel weder helder wordt. In den overgangstoestand verkeerende, laat hij de geele en roode stralen door, en brengt dan de verschijnselen van het avondrood te weeg.

Uit deze theorie is het ook zeer goed te verklaren, dat het avondrood veel meer schitterend is dan het morgenrood; dat avondrood en ochtendgraauw de voorboden zijn van schoon weder. Onmiddellijk na het maximum van temperatuur van den dag en vóór zonsondergang, beginnen de grond en de luchtlagen op verschillende hoogte, door uitstraling warmte te verliezen. Voor en aleer echter de waterdamp hierdoor volkomen verdigt wordt, gaat hij door den bedoelden overgangstoestand, die de oorzaak is van het avondrood. Des morgens is het anders. De dampen, die bij eene omkeering van het proces waarschijnlijk het rood zouden hebben te weeggebragt, rijzen niet omhoog, voordat de inwerking der zonnestralen lang genoeg heeft aangehouden, en dan is de tijd van het opkomen der zon voorbij, en deze staat reeds hoog aan den hemel. Het vuurroode voorkomen van den morgenhemel ontstaat door eene zoodanige overmaat van vochtigheid, dat er door de verdigting in hoogere streken werkelijk wolken ontstaan, in weerwil van het streven der rijzende zon om ze te verstrooijen. Het morgenrood is derhalve te beschouwen als de voorbode van regen, die spoedig zal gaan vallen.

Wanneer de zon aan den westelijken horizont is verdwenen, dan volgt er geene plotselinge duisternis, maar eene schemering, die naar omstandigheden nu eens korteren, dan weder langeren tijd aanhoudt. Deze schemering is daarvan afhankelijk, dat de lucht aan het westelijke gedeelte van den hemel en de in haar zwevende waterdeeltjes nog door de zon beschenen worden, nadat deze reeds voor ons oog is verdwenen, en dat deze verlichte lucht- en waterdeeltjes ons nog een licht toezenden, hetwelk langzamerhand meer en meer afneemt. In onze streken duurt de schemering ongeveer totdat de zon 18° beneden den horizont is. De langer duur der schemering op hoogere breedten is vooral daarvan afhankelijk, dat de baan van de zon daar zeer sterk gekromd is, en dat het daarom zeer lang duurt, eer zij 18° beneden den horizont staat. Hoe meer wij tot den aequator naderen, des te minder schuinsch is de baan van de zon op den horizont; onder den evenaar zelven maakt zij er eenen regten hoek mede; in de warme landen is de schemering van korten duur. In *Italie* is zij korter dan bij ons; in *Chili* duurt zij slechts een kwartiersuurs, in *Cumana* slechts eenige minuten. Deze zoo korte duur van de schemering is niet enkel te verklaren uit de rigting van den zonneweg op den horizont, maar ontstaat ook gedeeltelijk door de buitengewone helderheid van den hemel; want in onze streken dragen de dunne, hoog in de lucht zwevende

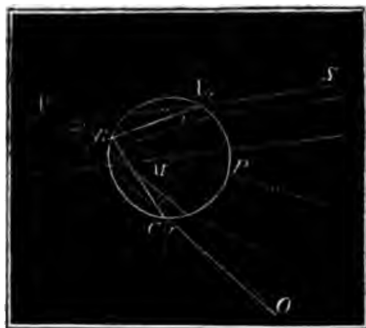
nevels, welke bij den dag den hemel als met eenen sluijer bedekken, doch tevens de lichtstralen sterk terugkaatsen, zeer veel bij om de schemering te verlengen.

136 **De regenboog.** Het is algemeen bekend, dat men eenen regenboog ziet, als men eene regenende wolk voor zich en de zon achter zich heeft. De regenboog stelt als het ware de basis daar van eenen kegel, wiens top in het oog gelegen is, en wiens as zamenvalt met de regte lijn, die men door de zon en het oog kan trekken. Onder de boven vermelde voorwaarden doet de regenboog zich ook voor in den stofregen der watervallen en springbronnen.

Ter verklaring van den regenboog, moet men den weg van de zonnestralen door de regendroppels vervolgen.

Indien een zonnestraal S A, fig. 520, op eenen regendroppel valt, dan wordt hij gebroken, en men kan gemakkelijk de rigting van den gebrokenen straal berekenen of construeeren. De gebrokene straal A B wordt in B aan den achterwand van den droppel naar C gespiegeld, en treedt dan na eene tweede breking in de rigting C O uit. De uittredende straal C O maakt met den invallenden eenen hoek S N O.

fig. 520.



Evenwijdig met S A vallen er evenwel nog vele andere zonnestralen op den droppel, en als men voor eenige hunner den weg door den droppel berekent of construeert, gelijk dit in onze figuur voor eenen tweeden straal geschied is dan ziet men, dat de uittredende stralen niet aan elkander evenwijdig zijn.

Terwijl er derhalve een evenwijdige lichtbundel op den droppel valt, treedt er een sterk divergerende bundel van stralen uit. Het is ligt te begrijpen, dat door dit divergeren der stralen die uit den droppel komen, de sterkte van den lichtsindruk, dien zij te weeg brengen, buitengemeen verzwakt wordt, en vooral indien de droppels op eenen slechts eenigzins aanmerkelijken afstand van het oog staan. Onder al de stralen, die, na tweemaal gebroken en eens teruggekaatst te zijn, in het oog vallen, kunnen slechts die eenen merkbaren indruk van licht te weeg brengen, voor welke deze uitéénwijking een minimum is, of met andere woorden, slechts die, welke ten naastenbij evenwijdig aan elkander uittreden.

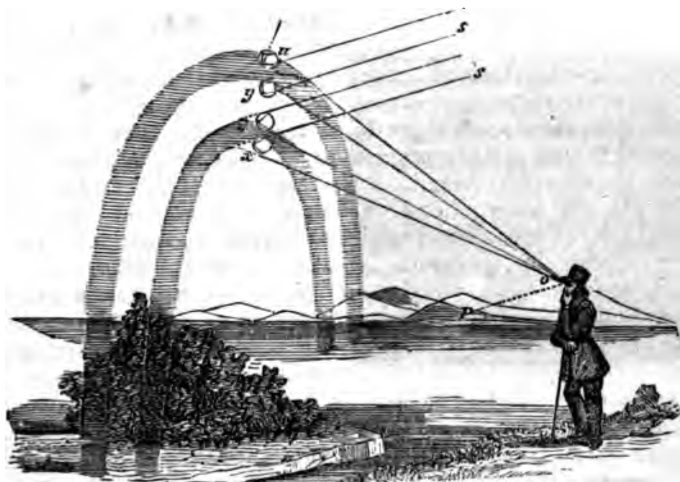
Bij naauwkeuriger onderzoek blijkt, dat eene tamelijke hoeveelheid van evenwijdig invallende stralen den droppel bijkans in dezelfde rigting verlaat, en wel is dit het geval met die stralen, voor welke de hoek N O ongeveer 42°30′ is; deze stralen alleen zullen, van al de stralen die uit den

[redacted]

droppel komen, eenen merkbaren indruk van licht te weeg kunnen brengen.

Wanneer men zich eene regte lijn *op*, fig. 521, getrokken denkt door de zon en door het oog van den waarnemer, en door deze loodregte vlakken gelegd; indien men dan verder door *o* eene lijn *ov* zoodanig trekt, dat de hoek *p o v* = 42°30′, dan zullen regendroppels die zich in deze rigting bevinden, na eene enkele spiegeling in het binnenste dier droppels, werkzame stralen in het oog zenden. Doch niet enkel in deze rigting ontvangt het oog werkzame stralen, maar, gelijk gemakkelijk te begrijpen is, van al de regendroppels, welke gelegen zijn in de oppervlakte van den kegel, die door de omdraaijing der lijn *ov* om de as *op* ontstaat. Het oog zal derhalve eenen lichtkring zien, waarvan het middelpunt gelegen is op de regte lijn, die van de zon door het oog getrokken is, en waarvan de straal onder eenen hoek van 42°30′ wordt gezien.

Fig. 521.

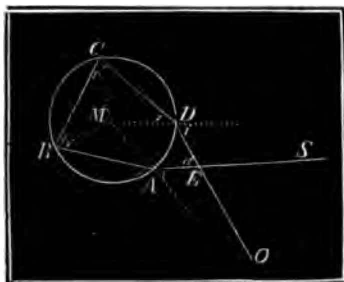


In de vermelde rigting ziet men eenen kring, die zich voordoet als een roode ring van 30′ breedte, omdat de zon niet een punt is, maar eene schijf, die den schijnbaren diameter van 30′ heeft. De werkzame violette stralen evenwel treden uit in eene rigting, die eenen hoek van 40°30′ met de invallende stralen maakt, en het oog ziet derhalve eenen violetten ring van 30′ breedte, wiens straal slechts 40°30′ bedraagt. Tusschen deze beide uiterste ringen ziet men die van de overige prismatische kleuren, en op deze wijze stelt dus de regenboog een spectrum daar, dat tot eenen kringvormigen boog is uitgerekt. De geheele breedte van den regenboog bedraagt ongeveer 2°, daar immers de straal van den rooden boog 2° grooter is dan die van den violetten.

Wat de uitgebreidheid van den regenboog aanbelangt, deze is natuurlijk afhankelijk van de hoogte der zon boven den horizont. Wanneer de zon juist ondergaat, ziet men den regenboog in het oosten, het middelpunt van den boog ligt dan juist in den horizont, omdat de lijn, die door de zon en het oog heen gaat, eene horizontale lijn is. Indien de waarnemer op het vlakke veld staat, dan stelt de regenboog juist eenen halven cirkel daar, doch men ziet meer dan eenen halven cirkel, als men op eenen alleen staanden, niet te breeden bergtop staat. Bij het opkomen van de zon ziet men den regenboog in het westen. Hoe hooger de zon rijst, des te lager ligt het middelpunt van den gekleurden boog onder den horizont, en des te kleiner is derhalve het gedeelte van den boog, hetwelk zigtbaar is. Als de zon 42°30′ hoog staat, kan de in het vlakke veld staande waarnemer geenen regenboog zien, omdat dan juist de top van den boog in den horizont ligt, en de geheele boog daar beneden valt. Van uit de masten van schepen ziet men vaak regenbogen, die eenen volkomenen kring daarstellen; en eveneens ziet men zulke kringvormige regenbogen dikwijls aan watervallen en springbronnen.

Behalve den boven beschrevenen regenboog, ziet men gewoonlijk nog eenen tweeden, grooteren, die met den eersten concentrisch verloopt, doch bij welken de kleuren in eene omgekeerde orde zijn gerangschikt. Bij den buitensten regenboog is namelijk het rood binnen en het violet buiten. De buitenste regenboog heeft veel minder lichtsterkte dan de binnenste, hij doet zich veel bleeker voor. Vroeger koesterde men de verkeerde meening, dat de tweede regenboog als het ware een spiegelbeeld van den eersten zou daarstellen. Het ontstaan van den buitensten regenboog berust op dezelfde beginselen als dat van den binnensten, hij ontstaat namelijk door zonnestralen, die in den regendroppel eene tweemalige breking, en eene *tweemalige terugkaatsing* in het binnenste van den droppel hebben ondergaan.

Fig. 522.



In fig. 522 is de loop voorgesteld, dien een lichtstraal in eenen regendroppel houdt, om hem na eene tweemalige reflexie in het binnenste van dien droppel te verlaten SA is de invallende zonnestraal, die naar AB gebroken, en dan in B en C teruggekaatst wordt, en bij D in de rigting DO weder uittreedt. In dit geval snijden de invallende en uittredende straal elkander, en stellen met elkander eenen hoek d daar, waarvan de grootte veranderlijk is, ·enar mate de invallende straal den droppel treft op eene an'alen pl· ts en dus onder eenen anderen hoek van inval.

na dere

[redacted]

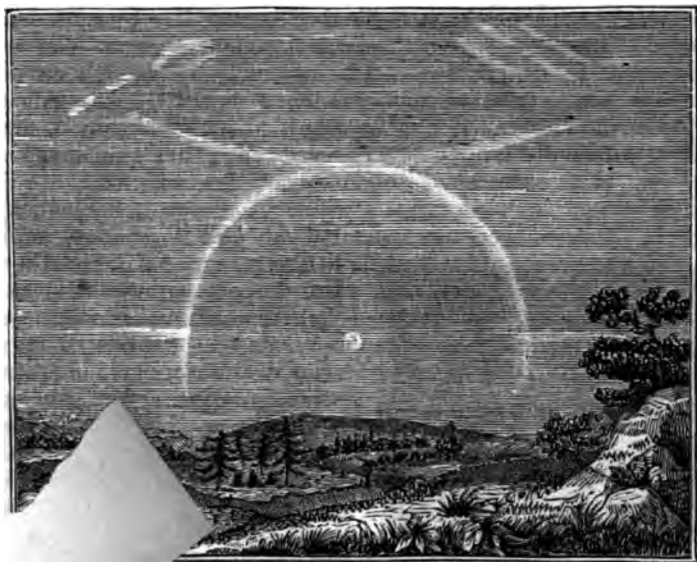
In dit geval maken de werkzaam uittredende roode stralen eenen hoek van 50°, de werkzaam uittredende violette stralen maken eenen hoek van $53\frac{1}{2}$° met den invallenden straal; het oog ziet derhalve eene reeks van concentrische gekleurde ringen, van welke de binnenste rood is en eenen straal van 50° heeft, terwijl de buitenste violette ring eenen straal van $53\frac{1}{2}$° heeft.

De buitenste regenboog is bleeker, omdat hij wordt daargesteld door stralen, die in den regendroppel tweemaal zijn teruggekaatst, terwijl het licht bij elke terugkaatsing zwakker wordt. Men zoude nog eenen derden en eenen vierden regenboog kunnen zien, die door stralen gevormd werden, welke voor de derde en voor de vierde maal zijn teruggekaatst, zoo het licht van deze stralen niet te zwak ware.

Kringen en bijzonnen. Vaak ziet men, terwijl de hemel met 137
eenen ligten wolkensluijer overtogen is, digt om de zon en om de maan gekleurde ringen. Zeer dikwijls zijn deze ringen niet geheel, maar slechts gedeelten van ringen. Dat men menigvuldiger kringen om de maan ziet dan om de zon, heeft zijnen grond daarin, dat het licht der zon te schitterend is; maar men ziet ze om de zon ook, als men het beeld der zon in stilstaand water ziet, of op eenen spiegel, die van achter zwart is gemaakt.

Deze kringen hebben de meeste overeenkomst met de glorie, die men om de vlam eenen kaars ziet, als men deze beschouwt

Fig. 523.



...azen plaat, die met semen lycopodii bestrooid is; ...wijfeld moeten deze kringen, even zoo goed als het

bedoelde verschijnsel, tot de interferentie verschijnselen worden gebragt; de dampblaasjes vervangen hier de plaats van de fijne stofdeeltjes.

Somwijlen ziet men ook nog twee grootere gekleurde ringen om de zon en de maan, die men niet moet verwarren met de bedoelde kringen. De straal van den kleinsten helderen ring doet zich voor onder eenen hoek van 22 tot 23°, en die van den grooteren onder eenen hoek van 46 tot 47°. Het rood is bij deze ringen aan de binnenzijde, de binnenste rand is scherper, de buitenste minder scherp, en minder duidelijk gekleurd. Zeldzaam komen deze beide ringen gelijktijdig voor. In fig. 523 is het verschijnsel zoodanig voorgesteld, als het wel het meest wordt waargenomen; het is namelijk de kleinere ring van 22 tot 23° radius; hij wordt gesneden door eenen horizontalen lichtstreep, die zich vaak tot aan de zon zelve uitstrekt. Op de plaats, waar deze streep den lichtring snijdt, is hij het helderst; deze heldere plaatsen, die men aan beide zijden der zon aan den uitwendigen omtrek van den ring ziet, zijn de *bijzonnen*. Soms ziet men zulk eene bijzon ook loodregt boven de zon, aan den top van den ring, waar echter ook dikwijls een boog wordt gezien, zoo als in fig. 523 is afgebeeld. Menigmaal ziet men de bijzonnen ook zonder de kringen, of de kringen zonder de bijzonnen. De kringen en de bijzonnen komen eveneens nooit voor bij geheel helderen hemel, maar slechts wanneer deze met eenen sluijer is overtogen.

Het ontstaan der vermelde kringen heeft men verklaard uit eene breking van het licht in de ijsnaalden, die in de lucht zweven. Indien de ijsnaalden de gedaante hebben van zeszijdige zuilen, dan maken altijd twee niet evenwijdige en niet zamenhangende zijvlakken eenen hoek van 60° met elkander, en de ijsnaalden stellen dus in zeker opzigt gelijkzijdige, driezijdige prismen daar, voor welke het minimum van afwijking ongeveer 23° bedraagt. Zoodanige stralen nu, die in de ijsnaalden het minimum van afwijking ondergaan hebben, zijn analoog aan de werkzame stralen van den regenboog, omdat de rigting, waarin vele stralen uittreden, *zeer* na overeenkomt met die van den regenboog. Uit deze hypothese kan men derhalve te gelijk het ontstaan van den kring, zijne grootte en de rangschikking der kleuren verklaren.

De kring van 46° is te verklaren door de veronderstelling, dat de as der prismen op eene zoodanige wijze scheef geplaatst is, dat de regte hoek, dien de zijvlakken der zuil met de basis maken, de brekende hoek van het prisma wordt. Voor een pisma van ijs, welks brekende hoek 90° bedraagt, is werkelijk het minimum der afwijking 46°.

De bijzonnenstreep wordt verklaard door de terugkaatsing der zonnestralen aan de loodregte vlakken der ijsnaalden; hij is het helderst op die plaats, waar hij den ring van 23° doorsnijdt, omdat hier twee oorzaken van eene sterkere verlichting te zamen werken.

Dwaallichten noemt men gewoonlijk kleine vlammetjes, die 138
in moerassige streeken, kerkhoven, enz., kortom op plaatsen, waar verrotting en ontleding van bewerktuigde stoffen plaats grijpen, niet hoog boven den grond te voorschijn komen, die eene huppelende en onrustige beweging aanbieden, en spoedig weder verdwijnen. Ofschoon men gewoonlijk van de dwaallichten spreekt, alsof zij goed bekend en verklaard waren, heerscht er toch nog groote onzekerheid omtrent dit verschijnsel, daar het nog volstrekt niet voldoende verklaard is, ja zelfs de daadzaken nog niet eens behoorlijk genoeg zijn nagegaan, — iets, hetwelk gemakkelijk te begrijpen is, als men bedenkt, dat de meeste personen, die dwaallichten gezien hebben, niet in staat waren om naauwkeurig waar te nemen, en het waargenomene zonder vooroordeel te verklaren.

VOLTA meende, dat de dwaallichten bestonden uit moeraslucht (koolwaterstofgas), die door eenen electrischen vonk ontvlamde. Maar van waar zou deze electrische vonk moeten komen? Anderen dachten, dat het phosphorwaterstofgas zou zijn, dat ontbrandt, zoodra het met de dampkringslucht in aanraking komt; maar dan zou men eene voorbijgaande, van eene ontploffing vergezelde luchtschittering, en niet een lang aanhoudend mat licht waarnemen. De meest waarschijnlijke meening is nog, dat de dwaallichten ontstaan door een phosphorhoudend waterstofgas, dat eigenlijk niet als vlam verbrandt, maar slechts zwak phosphoresceert.

Vallende sterren, Vuurbollen en Meteoorsteenen. Een algemeen be- 139
kend verschijnsel hetwelk daarom ook geene verdere beschrijving behoeft, zijn de vallende sterren. Uit gelijktijdige waarnemingen heeft men opgemaakt, dat de hoogte der vallende sterren 34 à 35 mijlen bedraagt, en dat zij zich bewegen met eene snelheid van 4—8 mijlen in de seconde.

Een hoogst merkwaardig verschijnsel zijn de periodisch terugkeerende zwermen van vallende sterren, die men van den 12—14 November en op den 10 Augustus (de St. Laurentius dag) waarneemt; het laatste verschijnsel wordt in Engeland reeds in een ouden kerkkalender, onder den naam van de „vurige tranen van den heiligen Laurentius", als een terugkeerend verschijnsel vermeld. Een der belangrijkste zwermen van dien aard werd den 12—13 November 1833 in *Noord-Amerika* waargenomen, waarbij zij bijkans als sneeuwvlokken bij elkander gehoopt waren, zoodat er in den tijd van 9 uur 240000 vielen.

De vuurbollen schijnen denzelfden oorsprong en aard te hebben als de vallende sterren, en er slechts in grootte van te verschillen. Bij de groote zwermen van vallende sterren, werden er vuurbollen onder aangetroffen.

De vuurbollen springen onder een groot geraas uiteen, en laten dan massa's van steenen vallen, onder den naam van

meteoorsteenen of aërolithen bekend zijn. Ook heeft men zoodanige meteoorsteenen bij den dag uit kleine graauwe wolken, eveneens met een groot geraas zien nedervallen.

De pas gevallen meteoorsteenen zijn nog heet, en ten gevolge der snelheid van hunnen val meer of minder diep in den grond gedrongen.

Tegen het einde der vorige eeuw was men zeer geneigd, om het vallen van steenmassa's uit de lucht voor een sprookje te verklaren; na dien tijd echter is het vallen van meteoorsteenen meermalen voorgekomen, en is dit door onderscheidene personen waargenomen, en door der zake kundige mannen behoorlijk geconstateerd. Daartoe behoort vooral de meteoorsteenval op den 26 April 1803 bij *Aigle* in het departement de *l'Orne*, die door BIOT is onderzocht, en die op den 22 Mei 1808 te *Stannern* in *Mähren*. Op den 13 November 1835 (derhalve ten tijde van de periode van vallende sterren) geraakte er in het departement Ain door eenen meteoorsteen een huis in brand.

De meteoorsteenen hebben een eigenaardig uitwendig voorkomen, waardoor zij zich van alle aardsche fossilien onderscheiden, maar zijn verder zoo onderscheiden van elkander, dat CHLADNI, die zich veel met dit onderwerp heeft bezig gehouden, het voor moeijelijk hield, om een algemeen kenmerk voor de meteoorsteenen aan te geven. Bijzonder karakteristiek is echter toch wel het gehalte aan gedegen ijzer, en eene pikachtig glinsterende, somwijlen geaderde korst, die bijkans nooit ontbreekt. Eene verdere beschrijving zou ons te verre voeren in mineralogische détails.

Op onderscheidene plaatsen heeft men op den grond steenmassa's aangetroffen, die geheel vreemd zijn aan het gebergtesysteem dier streken, doch die met bekende meteoorsteenen de grootste overeenkomst hebben, en welke men daarom met regt voor meteoorsteenen kan houden.

De massa der meteoorsteenen is zeer groot; men heeft er gevonden, die onderscheidene ponden, tot zelfs 400 centenaars wogen.

Het is naauwelijks meer te betwijfelen, of de vallende sterren, vuurbollen en meteoorsteenen in het algemeen zijn van kosmischen oorsprong, en zijn hoogst waarschijnlijk massa's, die even als de planeten rondom de zon loopen, en, in de spheer van aantrekking der aarde gekomen, hierop neder vallen. Het verschijnsel van vuur en licht is het eenvoudigste te verklaren door de veronderstelling, dat deze kleine wereldligchamen omgeven zijn met eenen atmospheer van brandbare stoffen, die ontbrandt, als hij in den zuurstofhoudenden atmospheer der aarde aankomt. Als wij aannemen, dat behalve ontelbare afzonderlijk om de zon rondloopende massa's van meteoorsteenen, geheele zwermen daarvan eenen ring om de zon daarstellen, dat het vlak van zulk eenen ring op eene bepaalde

[redacted]

plaats de baan der aarde snijdt, dan kan men hieruit het periodisch voorkomen van vallende sterren verklaren *).

*) Tegen de bovenstaande meening, die in 1835 door ARAGO is geopperd (nadat zij reeds vroeger, in het begin der vorige eeuw, in de gedachten van HALLEY was opgekomen, en door CHLADNI in het begin der tegenwoordige eeuw weder te voorschijn was geroepen), worden door den Hoogleeraar F. KAISER (*De Sterrenhemel*, Amsterd. 1847, 2e druk, 1e deel, blz. 252) de navolgende bezwaren geopperd: »1° De tijdperken, na verloop van welke de vallende sterren, in grooten luister terugkeeren zijn te talrijk en te onbepaald. Zonder hulpstellingen, die geheel uit de lucht gegrepen zijn, kan men niet verklaren, waarom zij wel eens nalaten op hunnen tijd te verschijnen, en de waarnemers wel eens op eene bittere wijze te leur stellen. — 2°. Maakten de vallende sterren eenen ring uit, in welken zij zich om de zon bewegen, dan moest de beweging van al die ligchamen, voor ons oog, naar hetzelfde punt van den hemel gerigt zijn. Dit is wel omtrent het geval met vele der vallende sterren, die zich in denzelfden nacht vertoonen, maar ook vele andere bewegen zich in allerlei willekeurige rigtingen. Men heeft dit bezwaar willen opheffen door de stelling, dat slechts een gedeelte der vallende sterren een gesloten ring om de zon vormt, terwijl de overige, die men *sporadische* vallende sterren noemde, zich bewegen kunnen zoo als zij willen; maar dan kunnen de laatste zeker geenen ring om de zon vormen, en toch vertoonen zij zich altijd talrijker, wanneer de andere talrijker zijn. Bij vallende sterren, die zich in allerlei rigtingen bewegen kunnen, bestaat zelfs geene waarschijnlijkheid, dat zij eene groep of eenen klomp van ligchamen vormen, die zich gezamentlijk om de zon bewegen. — 3°. Bij ligchamen, die zich met elkander in denzelfden kring om de zon bewegen, moet niet alleen de rigting, maar ook de snelheid van de beweging in hetzelfde punt van de loopbaan dezelfde wezen. Voor zoo ver de waarnemingen ons over de snelheid der vallende sterren kunnen doen oordeelen, welke zich in denzelfden nacht vertoonen, zijn hunne snelheden zeer verschillend, en anders dan zij naar de stelling van ARAGO wezen moesten. — 4°. De afstanden, waarop de vallende sterren meestal van de oppervlakte der aarde verwijderd zijn, zijn te groot om te kunnen aannemen, dat zij de lucht doen ontvlammen, of door hunne beweging in de lucht verbranden, en toch vertoonen zij zich ons in een licht, dat haar zelve toekomt. — 5°. Als de aarde zich door eenen stroom van millioenen kleine ligchamen beweegt, dan zullen vele van die ligchamen op de aarde moeten nederstorten, maar welke pogingen men er toe heeft aangewend, men heeft niet kunnen bewijzen, dat ooit eene vallende ster op de aarde is nedergekomen. — 6°. Als de vallende sterren ons zigtbaar worden door de snelheid, waarmede zij de lucht doorklieven, zoo als men bij de stelling van ARAGO volstrektelijk moet aannemen, dan moeten zij allen op nagenoeg dezelfde hoogte boven den grond beginnen zigtbaar te worden, of wel er moet een naauw verband bestaan tusschen hare snelheid en de ruimte, die zij in onzen dampkring hebben doorgeloopen, als zij ons zigtbaar worden. De waarnemingen schijnen juist het tegendeel te leeren. — Men heeft nooit opgemerkt, dat de vallende sterren eenig gedruisch maken, in weerwil van de snelheid, met welke men wil dat zij, ook in onze nabijheid, de lucht doorklieven. 8°. De vallende sterren vertoonen zich niet, in denzelfden nacht en bij dezelfde helderheid van de lucht, op verschillende plaatsen der aarde, in denzelfden luister. Dit erkennen ook de grootste voorstanders der ringen van ARAGO, en toch kan dit niet bestaan, ten zij de oorsprong der vallende sterren plaatselijk is, en niet buiten onze aarde zelve gezocht moet worden. Wij erkennen gaarne, dat al deze bezwaren door nieuwe stellingen bestreden kunnen worden, maar juist dit is ons grootste en negende bezwaar, dat men daartoe tot stellingen, die men van elders niet kan bewijzen, zijne toevlugt moet nemen."

En verder (ibid. blad. 259) »In weerwil van alles, wat op stelligen toon omtrent de vallende sterren beweerd wordt, durven wij ons noch voor, noch tegen de ringen van ARAGO verklaren, maar meenen wij onze kennis van deze verschijnselen voor nog zeer beperkt te moeten houden."

VIJFDE HOOFDSTUK.

Over de electriciteit van den dampkring.

140 **Eerste ontdekking der dampkrings-electriciteit.** OTTO VON GUERIKE, de beroemde uitvinder der luchtpomp, was de eerste, die een electrisch lichtverschijnsel waarnam. WALL nam omstreeks dien zelfden tijd waar, dat er zich een levendiger vonk en een sterker geruisch voordeden, als hij eenen grooten hars-cilinder wreef, en opmerkenswaardig is het, dat de eerste door menschenhanden voortgebragte electrische vonken ook dadelijk met den bliksem werden vergeleken. Deze vonk en dit knappen, zegt WALL, schijnen eenigermate den bliksem en den donder daar te stellen. De analogie was verrassend; maar om de waarheid daarvan te bewijzen, om in een zoo klein verschijnsel de oorzaak en de wetten van een der meest grootsche verschijnselen in de natuur te erkennen, waren meer regtstreeksche bewijzen noodig. Terwijl men in *Europa* er over twistte, of de bliksem wel een electrisch verschijnsel ware, werd in *Amerika* het proefondervindelijk bewijs geleverd. Nadat FRANKLIN tot onderscheidene ontdekkingen ten opzigte der electriciteit, en vooral over de Leydsche flesch en het vermogen van punten gekomen was, kwam hij op den gelukkigen inval, om de electriciteit in de onwêerswolken zelve op te zoeken. Hij was namelijk van oordeel, dat metalen punten, op hooge gebouwen geplaatst, de electriciteit der wolken zouden moeten opzuigen. Met ongeduld wachtte hij nu op de voltooijing van eenen klokkentoren, die toen te *Philadelphia* in aanbouw was, doch eindelijk, het wachten moede, nam hij zijne toevlugt tot een ander middel, dat nog zekerder resultaten moest geven. Daar het er enkel daarop aankwam, om een ligchaam hoog genoeg in de lucht omhoog te voeren, dacht FRANKLIN, dat een vlieger, zoo als de kinderen voor speeltuig gebruiken, even zoo goed voor zijn oogmerk kon dienen, als de hoogste toren. Van het eerste onweder het beste maakte hij nu gebruik, om zijne proef te nemen. Slechts van een enkelen persoon, zijnen zoon, vergezeld, omdat hij vreesde voor bespotting, als de proef mislukte, begaf hij zich in het vrije veld en liet den vlieger oprijzen. Eene wolk, die veel beloofde, trok voorbij, zonder eenige werking te weeg te hebben gebragt; ook andere trokken voorbij, en hij nam geene werking, geen teeken van electriciteit waar. Eindelijk evenwel begonnen de vezelen van den draad zich te spannen, en werd er een geruisch hoorbaar. Hierdoor bemoedigd, hield FRANKLIN den vinger tegen het einde van den draad: en ziedaar, er sprong nu een vonk over, die spoedig nog door meer andere werd opgevolgd.

FRANKLIN had zijne proef bewerkstelligd in het jaar 1752,

en deze werd overal met hetzelfde gevolg herhaald. DE ROMAS te *Nérac* was, door de eerste gedachten van FRANKLIN geleid, eveneens op de gedachte gekomen, om in de plaats der hooggeplaatste punten eenen vlieger te bezigen. Zonder kennis te dragen van de resultaten van FRANKLIN, kreeg hij in Junij 1753 zeer sterke teekenen van electriciteit, omdat hij op de gedachte kwam, om in de geheele lengte van den draad eenen fijnen metaaldraad aan te brengen. In het jaar 1757 herhaalde DE ROMAS zijne proeven, en kreeg daardoor vonken van eene verrassende grootte. Hij zegt: „men stelle zich vurige strepen voor van 9 tot 10 voet lengte en 1 duim dikte, gepaard met eene knettering, even zoo sterk, ja sterker dan een pistoolschot. In minder dan een uur kreeg ik minstens 30 zulke vonken, daarbij niet gerekend een duizendtal andere, die 7 voet en minder lang waren."

In weerwil van al de voorzigtigheidsmaatregelen, waarvoor deze ervaren proefnemer zorg droeg, werd hij eenmaal door de hevigheid van den slag ter aarde geworpen.

Deze proeven bewijzen volkomen, dat de bliksem niets anders is dan een electrische vonk.

Electriciteit bij onweders. Zoo men den electrischen toestand 142
onderzoekt van de wolken, die voor en na over den vlieger heen gaan, dan ziet men, dat zij nu eens geladen zijn met positieve of negatieve electriciteit, en dan eens in den neutralen toestand verkeeren. Ofschoon wij niets weten omtrent de verdeeling der electriciteit in de wolken, is toch wel de aantrekking en afstooting der ongelijk of gelijk geelectriseerde wolken de oorzaak van de ongewone bewegingen, die men bij onweders aan den hemel waarneemt. Bij deze algemeene beweging van den dampkring, ziet men bliksems door den hemel kruisen, en hoort men den donder rollen. Deze beide verschijnselen zullen wij thans nader beschouwen.

Vaak ziet men den bliksen uit eene wolk breken, en den hemel verre doortrekken. Als men op hooge bergen dit verschijnsel beneden zijne voeten waarneemt, dan kan men den afstand, dien de bliksem aflegt, beter beoordeelen.

Alle waarnemers komen overeen, dat zij onder zulke omstandigheden bliksems gezien hebben, die ten minste eene mijl lang waren. Men weet ook, dat uit dezelfde wolk achtereenvolgens onderscheidene bliksems voortkomen Eindelijk is het bekend, dat de bliksems meestal eenen zigzag vormen; deze gedaante hebben de bliksem en de electrische vonk gemeen.

De dampblaasjes, die de wolken daarstellen, zijn niet zulke volmaakte geleiders als de metalen, en al kennen wij de wetten niet omtrent het evenwigt en de verdeeling der electriciteit in onvolmaakte geleiders, is het niet te min toch te begrijpen, dat zij niet op eens zoo volkomen ontladen worden, om door eenen enkelen vonk in den normalen toestand teruggebragt te kunnen worden; en hieruit laat zich verklaren, dat er uit eene wolk onderscheidene bliksems kunnen voortkomen.

De lengte van den bliksem schijnt ook een gevolg te zijn van het onvolkomen geledingsvermogen der wolken en van de bewegelijkheid der deeltjes, waaruit zij bestaan. Van den conductor der electriseermachine kan men in eene drooge lucht vonken trekken van 1 el lengte; maar de vonken worden nog langer, als men ze laat slaan over wollen of zijden stoffen, die met een weinig fijn poeder zijn bestrooid. Zoo zou men ook door eenen nevel heen langere vonken kunnen trekken, als hierdoor niet de spanning der electriciteit te zeer verminderde. Ter verklaring der lengte van den bliksem, moet men daarom wel aannemen, dat op den weg, dien de bliksem neemt, de dampdeeltjes reeds door verdeeling zijn geëlectriseerd, en dat eindelijk, als men den bliksem ziet, het gestoorde evenwigt zich van laag tot laag weder herstelt, dat er in zekeren zin enkel vonken van deeltje tot deeltje overspringen, maar dat de electrische vloeistof niet den geheelen weg tusschen de ver verwijderde wolken doorloopt.

De donder is niet moeijelijker te verklaren, dan het geruisch van eenen kleinen electrischen vonk; hij ontstaat door de trillingen der in geweldige beweging verkeerende lucht. Men ziet het licht gelijktijdig op de geheele baan van den bliksem, en in deze geheele streek ontstaat ook gelijktijdig de knal; maar daar het geluid zich langzamer verbreidt dan het licht, en in eene seconde slechts 340 el aflegt, ziet men den bliksem, eer men den donder hoort; en een waarnemer, die zich digt bij het eene einde der baan van den bliksem bevindt, zal het geluid, dat op alle punten gelijktijdig ontstaat, niet gelijktijdig hooren. Stellen wij, dat de bliksem 3400 el lang zij, en de waarnemer zich in het verlengde van zijne baan bevinde, dan zal het geluid van het meest verwijderde uiteinde van die baan 10 seconden later bij hem aankomen, dan van het digst bij gelegen uiteinde. Dewijl derhalve het geluid van de verschillende plaatsen van den bliksem slechts langzamerhand tot den waarnemer komt, hoort deze derhalve niet eenen voorbijgaanden knal, maar, naar gelang van de lengte van den bliksem en van zijnen eigenen stand ten opzigte van diens baan, een langer of korter aanhoudend rollen van den donder, die ook nog door eene echo in de wolken versterkt wordt.

Niet alleen bij onweêrswolken, maar ook bij helderen hemel, kan men met behulp van goede electroskopen het bestaan van eene electrische spanning in den dampkring aantoonen.

Omtrent den oorsprong der dampkrings-electriciteit weten wij zoo goed als niets, ofschoon er over dit onderwerp reeds geweldig veel geschreven is. Eenigen meenen, dat de electriciteit ontstaat door eene snelle condensatie van den waterdamp des dampkrings, en dat derhalve de electriciteit een gevolg is van de snelle vorming van digte wolken.

142 **Uitwerkselen van den bliksem op de aarde.** Stellen wij ons voor, dat eene onweêrswolk 2000 tot 6000 el hoog boven de zee of



een groot water zweeft; stellen wij b.v. dat zij positief electrisch is, dan zal zij verdeelend werken; de positieve electriciteit zal in het water teruggestooten worden en de negatieve electriciteit daarentegen aan de oppervlakte van het water worden opgehoopt. Deze ophooping kan zoo aanmerkelijk wezen, dat zij eene merkbare verheffing van het water bewerkt, en er zal hierdoor een groote golf, een waterberg, kunnen ontstaan, die zoo lang blijft bestaan als de electrische toestand duurt, en op drieërlei wijze kan eindigen: 1. Indien de electriciteit der wolk allengs verloren gaat, zonder dat er een ontladingslag volgt, dan zal zich ook de normale electrische toestand van het water langzamerhand weder instellen. 2. Als een bliksem tusschen de onweêrswolk en eene andere, of tusschen de wolk en eene meer verwijderde plaats der aarde overgaat, dan moet de electriciteit, die aan de oppervlakte van den waterberg is opgehoopt, ook snel weder weg- en de vroeger afgestootene electriciteit terugstroomen, en er grijpt eene plotselinge vereevening, een *terugslag* plaats. 3°. Zoo de onweêrswolk digt genoeg in de nabijheid van den waterberg is, en sterk genoeg met electriciteit is geladen, dan slaat de bliksem over. Deze directe slag brengt doorgaans eene aanmerkelijker beweging, eene sterkere rijzing van het water te weeg, dan de terugslag. Een zoodanige slag oefent immer krachtige mechanische uitwerkselen op de weegbare stoffen uit.

Laat ons nu de uitwerkselen van onweêrswolken op het land nagaan. Eene langzame ontleding en wedervereeniging der electriciteit brengt geene zigtbare uitwerkselen te weeg, doch het schijnt niettemin, dat zoodanige stoornissen in het electrische evenwigt door organische wezens, en vooral door zenuwachtige personen, ontwaard kunnen worden.

De terugslag is altijd minder sterk dan de directe slag; er bestaat geen voorbeeld, dat er ooit brand door ontstaan zij; maar daarentegen ontbreekt het niet aan voorbeelden, dat menschen en dieren door den terugslag gedood zijn. In dit geval bieden zij volstrekt geene beenbreuken, wonden noch sporen van verbranding aan.

De geduchtste uitwerkselen ontstaan door den regtstreekschen slag. Als de bliksem inslaat, dan wordt de plaats, waar hij den grond raakt, door een of meer, nu eens meer dan minder diepe gaten gekenmerkt.

Alles, wat boven de oppervlakte der aarde verheven is, wordt bij voorkeur door den bliksemslag getroffen; van hier komt het, dat er zoo vaak dieren midden in het vlakke veld worden dood geslagen. Onder overigens gelijke omstandigheden, is men echter op eenen niet geleidenden grond veiliger, dan op eenen die goed geleidt.

Boomen zijn reeds door de sappen, die in hen circuleeren, goede geleiders. Als eene onweerswolk over hen heentrekt, dan grijpt er in de boomen eene sterke ... elec-

triciteit plaats, en daarom beweert men teregt, dat de boomen den bliksem aantrekken. Men moet derhalve bij een onweder geene beschutting zoeken onder boomen, vooral niet onder eenzaam staande boomen, ja zelfs niet onder struiken.

Gebouwen zijn doorgaans uit metaal, steenen en hout zamengesteld. Uit hoofde van het ongelijke geleidingsvermogen dezer stoffen, is ook het uitwerksel, dat onweêrswolken er op uitoefenen, zeer verschillend. Wanneer de bliksem inslaat, dan treft hij voornamelijk de betere geleiders, hetzij deze vrij zijn, of door slechtere geleiders omhuld worden; het verdeelende vermogen der dampkrings-electriciteit werkt even zoo goed op den spijker in den wand, als op den windwijzer, die vrij in de lucht uitsteekt.

De *mechanische uitwerkselen van den bliksem* zijn doorgaans zeer sterk. Als de bliksem in eene kamer slaat, dan worden de meubelen omver gesmeten en verbrijzeld, metalen stukken worden weggerukt en voortgesleurd. Boomen worden door den bliksem gespleten en tot splinters geslagen; maar gewoonlijk kan men van den top der boomen tot aan den grond eene, onderscheidene duimen breede en diepe, groeve vervolgen; de afgeschilde bast en de uitgereten splinters vindt men ver weggesleurd, en aan den voet van den boom ziet men vaak een gat, door hetwelk de electrische vloeistof zich in den grond verbreid heeft.

De physische uitwerkselen van den bliksem blijken uit eene meer of minder aanmerkelijke verhooging van temperatuur. Als de bliksem een dak van stroo, droog hout, ja zelfs groene boomen treft, dan volgt er eene verkoling, en meestal zelfs eene ontbranding; bij boomen vindt men de sporen van verkoling evenwel zeldzamer. Metalen worden door den bliksem sterk verhit, gesmolten of vervlugtigd. Herhaalde bliksemslagen brengen op hooge bergen zigtbare sporen van smelting voort.

143 **De bliksemafleiders** bestaan uit eene spitse metalen staaf, die vrij in de lucht uitsteekt, en uit eenen goeden geleider, door welken de staaf met den grond wordt verbonden. Indien zij hun doel zullen vervullen, moet er aan de volgende voorwaarden voldaan zijn:

1°. De staaf moet in eene zeer fijne punt uitloopen.

2°. De verbinding met den grond moet door eenen goeden geleider worden daargesteld.

3°. Van de spits tot aan het onderste uiteinde van den geleider mag de geleiding niet zijn afgebroken.

4°. Al de deelen van den toestel moeten de behoorlijke afmetingen hebben.

Indien eene onweêrswolk boven den bliksemafleider zweeft, dan worden de gebonden electriciteiten van de staaf en van den geleider ontleed, de electriciteit, welke gelijknamig is met die van de wolk wordt afgestooten, en kan zich vrij in den grond verbreiden, terwijl de tegenovergestelde electriciteit ge-



[redacted]

trokken wordt naar de spits, van waar zij vrij in de lucht kan uitstroomen. Op deze wijze is het niet mogelijk, dat er electriciteit in den bliksemafleider wordt opgehoopt. Terwijl de bliksemafleider op deze wijze werkzaam is, terwijl de tegenovergestelde electriciteiten er in tegenovergestelde rigting door heenstroomen, kan men hem zonder gevaar naderen, en men kan hem zonder gevaar aanraken, want waar geene electrische spanning is, daar heeft men geenen slag te duchten. Veronderstellen wij nu, dat er aan eene der drie eerst genoemde voorwaarden niet voldaan zij, dat de spits te stomp, of de geleiding naar den grond onvolkomen of afgebroken zij, dan is het duidelijk, dat eene ophooping van electriciteit in den bliksemafleider niet alleen mogelijk, maar zelfs onvermijdelijk is. De bliksemafleider stelt dan eenen geladenen conductor daar, in welken eene buitengemeene hoeveelheid electriciteit kan zijn opgehoopt, en men kan dan uit hem nu eens zwakkere, dan weder sterkere vonken trekken.

Indien enkel de spits te stomp is, dan kan de bliksem inslaan, maar zal dan den geleider volgen, zonder het gebouw te vernielen.

Als de geleiding afgebroken, of de verbinding met den grond onvolkomen is, dan kan de bliksem eveneens inslaan, maar zal zich dan ook ter zijde op andere geleiders verbreiden, en even zulke verwoestingen aanrigten, alsof er in het geheel geen bliksemafleider ware.

Nog meer: een bliksemafleider bij welken dit gebrek bestaat, is zeer gevaarlijk, zelfs wanneer de bliksem niet inslaat: want als op de eene of andere plaats van den geleider de electriciteit genoeg is opgehoopt, dan kan er ter zijde een vonk overspringen, waardoor voorwerpen vernield worden of in brand geraken kunnen. Wij kunnen hiervan een treurig voorbeeld bijbrengen: RICHMANN, hoogleeraar in de natuurkunde te Petersburg, werd plotseling gedood door eene vonk, welke ontsprong aan den bliksemafleider van zijn huis, en waarvan hij de geleiding had afgebroken, ten einde de electriciteit der wolken te onderzoeken. SOKOLOW, de kopergraveur der Academie, zag de vonk treffen op het voorhoofd van RICHMANN.

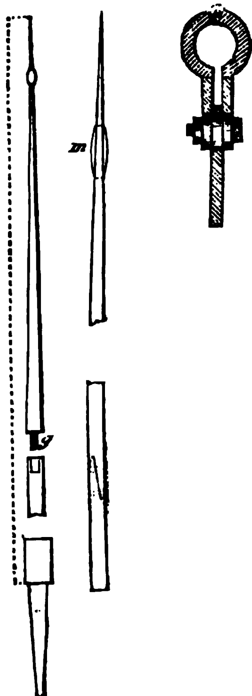
Nadat wij hebben opgegeven, aan welke voorwaarden er voldaan moet zijn, als een bliksemafleider werkzaam zal wezen, en welke gevaren uit het veronachtzamen daarvan kunnen voortvloeijen, blijft ons nog iets te zeggen van de practische daarstelling der bliksemafleiders. GAY-LUSSAC heeft, onder de medewerking der Academie van wetenschappen te Parijs, op het verlangen van den minister van binnenlandsche zaken, een voorschrift omtrent dit onderwerp gegeven, hetwelk niets te wenschen overlaat, en waaruit wij hier het hoofdzakelijkste ontleenen:

De stang van den bliksemafleider is ongeveer 9 el lang; hij bestaat uit drie stukken, namelijk:

eene ijzeren	ſ	van	8,6	el	lengte.
„ geelkoperen	„	„	0,6	„	„
„ platinanaald		„	0,05	„	„

Gezamenlijk stellen zij eenen van beneden naar boven gelijkmatig toeloopenden kegel, fig. 524, daar.

Fig. 524. Fig. 525. Fig. 526.



De platinanaald is met zilver vast gesoldeerd aan de geel koperen staaf, en de soldeerplaats is met koper bedekt, gelijk men duidelijker ziet in fig. 525.

De geel koperen staaf is geschroefd in de ijzeren staaf, en bovendien door stiften er aan bevestigd.

De ijzeren staaf is dikwijls, om gemakkelijker vervoerd te kunnen worden, uit twee stukken zamengesteld, van welke het eene door middel van eenen twee palmen langen tap in het andere stuk steekt, en dan door eene stift bevestigd is.

In fig. 529 ziet men de drie verschillende wijzen, waarop de stang op een gebouw kan worden bevestigd.

Onder de stang, op 8 duimen afstand van het dak, is eene plaat *bb'*, fig. 527 gesoldeerd, om het water te kunnen afleiden. Op 5 duim hoogte boven deze plaat moet de stang cilindrisch en goed glad gedraaid zijn, zoodat men er een scharnier *ll'*, fig. 526 en fig. 527, aan hetwelk de geleiddraad bevestigd is, om heen leggen kan.

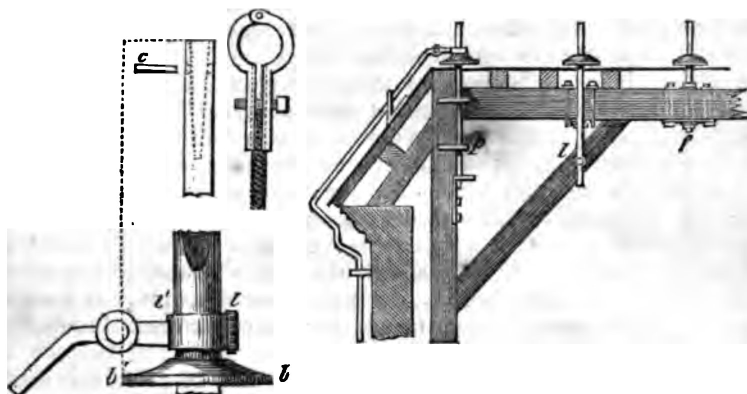
De geleider is een vierzijdige ijzeren staaf, wier zijden 15 tot 20 streepen bedragen, en die door schroeven bevestigd is aan den ring *ll'*.

De geleiddraad wordt over het dak en langs het gebouw heen naar den grond geleid. De hoofdzaak is, om den geleider zoo goed mogelijk met den grond in geleidende verbinding te brengen. Als er in de nabijheid eene bron is, die niet uitdroogt, of als men in den grond een gat kan boren tot op eene diepte waarin steeds water is, dan is het voldoende, om de staaf, die men in vele armen verdeelt, daarin te leiden. Ten einde de punten van aanraking te vermeerderen, leidt men de staaf met omwindingen naar de bron of naar de geboorde put, die dan met houtskolen worden opgevuld. Dit heeft het dubbele voordeel, dat op deze wijze het ijzer beter tegen het roesten beschermd wordt, en dat het in aanraking is met de kool, eene zeer goed geleidende stof.

Zoo men geen water in de nabijheid heeft, moet men den geleiddraad ten minste door een lang kanaal, dat met kool gevuld wordt, naar eene vochtige plaats leiden. Tot meerdere

zekerheid kan men den geleiddraad dan ook nog in zijtakken verdeelen.

Fig. 527. Fig. 528. Fig. 529.



Vaak bezigt men in de plaats van de geleidende staaf een gedraaid koperdraad, zoo als in fig. 528 is afgebeeld.

Dat de bliksem goede geleiders volgt, heeft men b. v. nog in 1849 bij gelegenheid van een zwaar onweder te *Bazel* kunnen zien. De bliksem viel op den bliksemafleider van een woonhuis, volgde dien tot in den grond, en sprong van daar over op eene nabij gelegene buis van gegoten ijzer. Op eenen afstand van meer dan een kwartieruurs lengte werden eene menigte buizen van gegoten ijzer verbrijzeld, zoodat natuurlijk al de bronnen die door deze buizen hun water kregen, plotseling ophielden te loopen.

Even gemakkelijk als het te begrijpen is, dat de bliksemafleider niet slaat in eenen op deze wijze ingerigten bliksemafleider, even zoo gemakkelijk kan men nagaan, dat hij ook op eenigen afstand van den bliksemafleider niet kan inslaan. De electriciteit, welke in eene rijkelijke hoeveelheid door de spits uitstroomt, wordt door de onweerswolk aangetrokken, en veronzijdigt, daar aangekomen, een gedeelte van de oorspronkelijke electriciteit dier wolk.

Indien derhalve eene onweërswolk digt genoeg bij den bliksemafleider is, om eene verdeelende werking te kunnen uitoefenen, dan wordt ook onmiddellijk haar electrisch vermogen verzwakt, door het toestroomen der tegenovergestelde electriciteit uit de spits. Hoe meer de wolk nadert, des te sterker werkt haar verdeelend vermogen, maar des te meer wordt zij ook door het toestroomen der tegenovergestelde electriciteit geneutraliseerd.

De werking van den bliksemafleider is echter nog van eenige voorwaarden afhankelijk. Indien andere in de nabijheid aanwezige voorwerpen hooger in de lucht uitsteken, dan kan de

electriciteit der wolk op deze voorwerpen sterker werken dan op den bliksemafleider, en dan is derhalve het inslaan van den bliksem mogelijk. Zoo ook, indien er aanmerkelijke metaalmassa's, b.v. ijzeren staven of een metalen dak in de nabijheid van den bliksemafleider zijn. In dit geval moet men de metaalmassa's zoo goed mogelijk in geleidende verbinding brengen met den bliksemafleider, opdat de aangetrokken electriciteit ongehinderd door de spits kan uitstroomen. Het is daarom gevaarlijk, om het metalen dak van den bliksemafleider te willen isoleeren, gelijk dit door eenige practici is voorgeslagen. Gelukkigerwijze zijn de middelen, die zij tot dit isoleren hebben gebezigd, niet voldoende om hun doel te vervullen, en zij hebben enkel iets nutteloos verrigt.

De ondervinding heeft geleerd, dat een bliksemafleider van de aangegeven afmetingen, die met in acht neming van alle voorzigtigheidsmaatregelen is gelegd, eenen omtrek beschut, wiens straal ongeveer 20 ellen lang is.

Dewijl het van het grootste belang is, dat de geleiding van het metaal van de spits naar den grond onafgebroken zij, is het wenschelijk, om zich hiervan te kunnen overtuigen. In den laatsten tijd heeft men daartoe den galvanischen stroom aangewend. Als men namelijk van de eene pool eener galvanische keten eenen koperdraad leidt naar het bovenste, en eenen dergelijken draad van de andere pool naar het onderste uiteinde van den bliksemafleider, dan is deze in den sluitdraad der keten tusschen gevoegd. Een galvanometer, op eene geschikte plaats in dezen sluitdraad ingevoegd, zal dan den stroom aanwijzen, zoo de geleiding niet is afgebroken.

AANHANGSEL.

Verhoudingen van het nieuwe fransche maatstelsel tot andere maatstelsels.

In dit werk zijn doorgaans al de opgaven van maat in het Fransche maatstelsel uitgedrukt, ten deele omdat hierbij eene zoo bijzonder eenvoudige verhouding van de maat tot het gewigt bestaat, welke men bij de andere maatstelsels niet vindt, eene eenvoudigheid, door welke menige berekening, die anders bij natuurkundige beschouwingen als groote last zou voorkomen, onnoodig wordt; en ten deele ook, omdat bij natuurwetenschappelijke onzoekingen het metrische maat- en gewigtstelsel bijkans algemeen aangenomen is, zoodat bijna alle natuurkundigen en scheikundigen er zich van bedienen, en het stellig niet raadzaam zou zijn, om de volgens het metrische stelsel verrigte metingen en wegingen tot andere maten te herleiden.

Het voornaamste wat tot het metrische stelsel betrekking heeft, is reeds vroeger (bladz. 12) medegedeeld, Daar is vermeld, op welke wijze de lengte van de mêtre bepaald is, en dat

$$1^{\text{mêtre.}} = 10^{\text{decimêtre.}} = 100^{\text{centimêtre.}} = 1000^{\text{millimêtre.}}$$

Het maat- en gewigtstelsel, hetwelk sedert den 29. Maart 1819 in het koningrijk der Nederlanden is ingevoerd, is geheel en al het Fransche metrische stelsel, met verandering der Fransche in Nederduitsche benamingen. Zij zijn:

Lengtemaat.	1 streep	=	=	1 millimêtre.
	10 streep	= . 1 duim . . .	=	1 centimêtre.
	10 duim	= . 1 palm . . .	=	1 decimêtre.
	10 palm	= . 1 el . . .	=	1 mêtre.

De Nederlandsche el is = 1,44013 Amsterdamsche el.
„ „ „ „ = 0,83333 Parijsche el.
„ „ „ „ = 1,49939 Pruissische el.
„ „ „ „ = 3,18624 Rijnlandsche voet.

De verhouding der belangrijkste lengtematen tot de el is in de volgende tabel gegeven:

1 Rijnlandsche of pruissische voet . . .	= 313,85	streep.
1 Engelsche voet	= 304,79	„
1 Weener „	= 316,10	„
1 Parijsche „	= 324,84	„
1 Toise = 6 Parijsche voet	= 1,94904	el.
1 Duitsche of geographische mijl . . .	=7407	el
1 Engelsche zeemijl = 1 Italiaansche mijl	=1852	„

Vlakte of Veldmaat 10 el	= 1 roede	= 1 decamêtre.
100 vk. el	= 1 vk. „	= 1 are.
100 „ roede	= 1 bunder	= 1 hectare.

Houtmaat: 1 kubiek el = 1 wisse = 1 stere.

Vochtmaat: Deze, zoowel als het gewigt, zijn bij het Fransche maatstelsel onmiddellijk van de gewone lengtemaat afgeleid, hetgeen bij de andere maatstelsels niet het geval is, en waarin juist eene bijzondere voortreffelijkheid van ons maatstelsel is gelegen. — De eenheid van de Fransche holle maat is de ruimte, welke door 1 kubieke palm wordt ingenomen, en heet *kan*.

1 vingerhoed		= 1 centilitre.
10 vingerhoeden	= 1 maatje	= 1 decilitre.
10 maatjes	= 1 kan	= 1 litre.
100 kan	= 1 vat	= 1 hectolitre.

Korenmaat: Is dezelfde maat, met wijziging der namen:

1 maatje =		= 1 decilitre.
10 maatjes	= 1 kop	= 1 litre.
10 kop	= 1 schepel	= 1 decalitre.
10 schepels	= 1 mud	= 1 hectolitre.

Gewigt: Gelijk boven werd vermeld, is ook de eenheid van het gewigt (vergel. bladz. 11) bij het metrische maatstelsel van de lengtemaat afgeleid. 1 *Wigtje is het gewigt van eenen kubieken duim zuiver water in den toestand van zijne grootste digtheid.* Daar nu 1 kubieke palm = 1000 kubieke duimen is, volgt hieruit, dat 1 kan water 1000 wigtjes, of, wat hetzelfde is, 1 kilogramme = 1 *pond* weegt. 100 zulke ponden stellen den *centenaar* daar.

De onderverdeelingen van het *pond* zijn:

1 pond	= 1 kilogramme	= 10 ons.
1 ons	= 1 hectogramme	= 10 lood.
1 lood	= 1 decagramme	= 10 wigtjes.
1 wigtje	= 1 gramme	= 10 korrels.
1 korrel	= 1 decigramme	= $^1/_{10}$ wigtje
$^1/_{10}$ korrel	= 1 centigramme	= $^1/_{100}$ „
$^1/_{100}$ „	= 1 milligramme	= $^1/_{1000}$ „

Het nederlandsche pond is = 2,02392 Amsterdamsch pond.
„ „ „ „ = 2,13807 Pruisisch „

Omtrent het ***medicinaal gewigt*** is, ingevolge Koninklijk Besluit van 30 November 1817, vastgesteld, dat het medicinale pond gelijk zou worden gesteld aan $^3/_8$ van het Nederlandsche pond.

Bijgevolg:	1 med. pond	=	12 med. oncen	=	375,000	wigtjes
	1 „ ons	=	8 drachmen	=	31,250	„
	1 drachma	=	3 scrupels	=	3,90625	„
	1 scrupel	=	20 grein	=	1,3020833	„
			1 grein	=	0,065104166	„



ALPHABETISCHE LIJST.

IJ

Z



R7

1 [illegible]



